

نظام الإحداثيات المرجعي والعمليات على الإحداثيات

GIS

الدليل الكامل لمحترفي

يغطي الكتاب المفاهيم النظرية والمواصفات القياسية للإحداثيات
و 70 مشروعاً من الدول العربية مع التطبيقات العملية باستخدام:

ArcGIS 10.0 -

AutoCAD Map 3D 2013 -

Oracle Spatial 11g R2 -

FME Desktop 2012 -

المهندس سامر الجودي

**نظام الإحداثيات المرجعي
والعمليات على الإحداثيات**

نظام الإحداثيات المرجعي والعمليات على الإحداثيات: الدليل الكامل لمحترفي GIS

سامر الجودي

الطبعة الأولى 1434 هـ - 2013 م

ISBN 978-9933-13-239-2

جميع الحقوق محفوظة للمؤلف



الناشر شعاع للنشر والعلوم

حارة الرباط 2 - المنطقة 12 - حي السبيل 2

هاتف +963 (21) 2643546 تليفاكس +963 (21) 2643545

ص.ب 7875 حلب، سورية

لمزيد من المعلومات ولشراء كتب الدار مباشرة من إنترنت

<http://www.raypub.com>

quality@raypub.com

info@raypub.com

sales@raypub.com

orders@raypub.com

يرجى زيارة موقعنا

البريد الإلكتروني للقراء:

.....

البريد الإلكتروني للزبائن:

البريد الإلكتروني لدور النشر:

Mastering Coordinates: The Complete Guide for GIS Professionals

Samer Joudi



Published by Ray Publishing & Science

Hay Al Sabil 2, Sector 12, Al Rabat Avenue 2, P.O. Box 7875, Aleppo, Syria

Copyright © 2013

All Rights Reserved. First edition 2013

ISBN 978-9933-13-239-2

يمنع نسخ أي جزء من هذا الكتاب، أو تخزينه في نظام لاسترجاع المعلومات، أو نقله بأية صورة أو بأية وسيلة، سواء

كانت إلكترونية أم ميكانيكية، أو بالتسجيل أو خلاف ذلك، دون الحصول على إذن مسبق.

الشركات وأسماء المنتجات والشعارات الواردة في هذا الكتاب هي علامات تجارية أو علامات تجارية مسجلة لأصحابها.

نظام الإحداثيات المرجعي والعمليات على الإحداثيات

المهندس سامر الجودي

عندما تفرغ من تأليف كتاب، وتضع قلمك جانباً إيذاناً بانتهاء تلك الرحلة، ستستوقفك هذه الصفحة ملياً لانتقاء شخص مميّز ترغب في إهداء ثمره هذا العمل الشاقّ إليه، وستجد حينئذ أن مهمّة الإهداء هذه مهمّة عسيرة، إذ يحضر في ذهنك ذكر كل من كان له فضل عليك.

ولعلك تتساءل: أهى الوالدة التي سهرت على تربيته وغمرتك بحبها ودعائها؟ أم الوالد الذي قارع الحياة من أجلك وغرس فيك كلّ ما تعتز به من قيم؟ أم الأخوة الذين شاطروك ذكريات الطفولة الجميلة ومرارة الحياة قبل حلاوتها؟ أم لعلها الزوجة التي آثرتك على نفسها ووقّرت لك كل أسباب النجاح حتى تنجح؟ أم هم الذين عملت منهم، فأنت لا تنسى فضلهم أبداً؛ معلمو المدرسة، وزملاء العمل؟

وفوق ذلك، لم يكن كتابك ليرى النور لولا من كان لك عوناً على إتمامه، أو ألقى نظرة فاحصة فيه، فضلاً عن الناشر الذي لم يدخر جهداً للعناية به، وهؤلاء يستحقون كلّ الشكر والتقدير....

ومن المتفق عليه أن إهداء الكتاب خيار شخصي جداً، فهو نابع من تجربة المؤلف ليس إلا، إذ يهدي المؤلف كتابه - عادةً - إلى شخص يلحّ ذكره كثيراً في تلك اللحظة، ولذلك:

”أهدي هذا العمل إلى من أفقده كل يوم...”

إلى والدي الذي أورثني عشق الكتاب

وأهداني مؤلفاته التي لم ينشرها...”

المحتويات

XIII	هذا الكتاب
XV	الأيقونات المستخدمة في الكتاب
XVII	البرامج والأنظمة التي يغطيها الكتاب
XXI	قائمة الرموز
XXIII	قائمة الاختصارات

الفصل 1: التقنيات المكانية والإحداثيات

2	1.1 التقنيات المكانية
5	1.1.1 مكونات التقنيات المكانية
7	1.1.2 الجيوماتيكس والتقنيات المكانية
7	1.1.3 جغرافي أم مكاني أم جيوميكاني؟
9	1.2 البيانات المكانية
13	1.3 الإحداثيات
14	1.3.1 لماذا الإحداثيات
18	1.3.2 حقائق عن الإحداثيات
18	1.3.2.1 ثمة أماكن متباعدة لها الإحداثيات ذاتها
19	1.3.2.2 النقطة الواحدة لها عدة إحداثيات
20	1.3.2.3 الإحداثيات تتغير عبر الزمن
21	1.3.2.4 الارتفاع قيمة نسبية
22	1.3.2.5 الإحداثيات قيمة مشكوك فيها
22	1.3.2.6 الإحداثيات لها دقة موقعية
23	1.3.3 كيف نعبر عن الإحداثيات
24	1.3.4 خداع الخرائط
26	1.4 الحصول على الإحداثيات
27	1.4.1 المساحة
29	1.4.2 النظام العالمي للملاحة بالأقمار الاصطناعية
31	1.4.3 نظام تحديد المواقع المحلي

32	1.4.4	الاستشعار عن بعد
34	1.4.5	برامج التصميم بالحاسوب (CAD)
36	1.4.6	الترقيم
37	1.5	الإسناد المكاني باستخدام المعرفّات الجغرافية
38	1.5.1	الترميز الجغرافي
39	1.5.2	المعجم الجغرافي
39	1.5.3	نظام الإسناد الطولي

42 الفصل 2: المواصفات القياسية للإحداثيات

42	2.1	المنظمة الدولية للمواصفات القياسية
42	2.1.1	المواصفة القياسية ISO 19111
43	2.1.2	المواصفة القياسية ISO 19112
44	2.1.3	المواصفة القياسية ISO 6709
44	2.1.4	المواصفتان القياسيتان ISO 19113 و ISO 19114
45	2.1.5	المواصفتان القياسيتان ISO 19115 و ISO 19139
46	2.2	مجموعة المساحة النفطية الأوروبية
47	2.2.1	مجموعة بيانات الوسطاء الجيوديسية من EPSG
48	2.3	الاتحاد الجيومكاني المفتوح
48	2.3.1	النص المعروف (WKT)
49	2.3.2	معرفّ النظام المرجعي المكاني (SRID)
52	2.3.3	خدمة تحويل الإحداثيات
52	2.3.4	خدمة تحويل الإحداثيات على ويب (WCTS)
52	2.4	المؤسسة الجيومكانية للمصادر المفتوحة
53	2.4.1	المشروع MetaCRS
53	2.4.1.1	المشروع الفرعي PROJ.4
53	2.4.1.2	المشروع الفرعي CS-Map
54	2.5	المواصفات القياسية الوطنية
56	2.5.1	مكتب الموازنة الأمريكي
59	2.5.2	الجمعية الأمريكية للمساحة التصويرية والاستشعار عن بعد
62	2.5.3	اللجنة الاتحادية للبيانات الجغرافية

2.5.4. اللجنة الحكومية للمساحة وإعداد الخرائط 66

70 الفصل 3: نظام الإحداثيات المرجعي

70	تمثيل شكل الأرض رياضياً	3.1
72	نظام الإحداثيات المرجعي	3.2
73	3.2.1 أنواع أنظمة الإحداثيات	3.2.1
73	3.2.2 أنواع المراجع	3.2.2
73	3.2.3 أنواع نظام الإحداثيات المرجعي	3.2.3
75	3.3 الأنظمة المرجعية للإحداثيات الجيوديسية	3.3
75	3.3.1 المرجع الجيوديسي	3.3.1
76	3.3.1.1 الجسم الإهليلجي	3.3.1.1
79	3.3.1.2 الكرة	3.3.1.2
81	3.3.1.3 المرجع الجيوديسي WGS 84	3.3.1.3
82	3.3.1.4 المرجع الجيوديسي المحلي	3.3.1.4
87	3.3.1.5 لمحة عن الإحداثيات الفلكية	3.3.1.5
87	3.3.2 النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية	3.3.2
95	3.3.2.1 النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية ثلاثية الأبعاد	3.3.2.1
97	3.3.2.2 GEOREF	3.3.2.2
100	3.3.3 النظام المرجعي للإحداثيات أرضية المركز	3.3.3
103	3.3.4 النظام/الإطار المرجعي الأرضي الدولي (ITRF/ITRS)	3.3.4
106	3.3.5 النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية في برامج نظام المعلومات الجغرافية ...	3.3.5
106	3.3.5.1 إعداد بيئة العمل	3.3.5.1
107	3.3.5.1.1 انتقاء نظام مرجعي للإحداثيات الجغرافية	3.3.5.1.1
110	3.3.5.1.2 إنشاء نظام مرجعي جديد للإحداثيات الجغرافية	3.3.5.1.2
119	3.3.5.2 تحويل البيانات المكانية بين الأنظمة الجغرافية	3.3.5.2
120	3.4 النظام المرجعي للإحداثيات الرأسية	3.4
120	3.4.1 المرجع الرأسي	3.4.1
121	3.4.2 الارتفاعات والأعماق	3.4.2
122	3.4.2.1 قياس الأعماق والمساحة المائية	3.4.2.1
122	3.4.2.2 نماذج الارتفاعات	3.4.2.2

124	3.4.3	متوسط منسوب البحر
127	3.4.4	الجيوتيد
129	3.4.4.1	نماذج الجيوتيد العالمية
131	3.4.4.2	تموج الجيوتيد
133	3.4.4.3	الجيوتيد المحلي
134	3.4.4.3.1	حساب الجيوتيد المحلي بالطريقة الهندسية
134	3.4.4.3.2	حساب الجيوتيد المحلي باستخدام أرصاد الجاذبية
137	3.4.4.4	شبه الجيوتيد
137	3.4.5	النظام المرجعي للإحداثيات الرأسية في برامج نظام المعلومات الجغرافية
137	3.4.5.1	إعداد بيئة العمل
137	3.4.5.1.1	انتقاء نظام مرجعي للإحداثيات الرأسية
138	3.4.5.1.2	إنشاء نظام مرجعي للإحداثيات الرأسية
139	3.4.5.2	تحويل الإحداثيات الرأسية
139	3.5	النظام المرجعي للإحداثيات المركبة
141	3.6	الشبكة الجيوديسية الوطنية
144	3.6.1	المواصفات القياسية للشبكة الجيوديسية
144	3.6.1.1	لجنة التحكم الجيوديسي الاتحادية (FGCC)
147	3.6.1.2	اللجنة الاتحادية للبيانات الجغرافية
148	3.6.2	مثال عن الشبكة الجيوديسية الوطنية
149	3.7	تعيين نظام الإحداثيات المرجعي في برامج نظام المعلومات الجغرافية

الفصل 4: الإسقاط والإحداثيات المُسقطة 160

160	4.1	ما الإسقاط؟
164	4.2	القياسات على الأرض
164	4.3	اتجاه الشمال
166	4.4	السمت والاتجاه والمسار الأقصر
170	4.5	تحديد اتجاه القبلة
178	4.6	تصنيف أنواع الإسقاط
180	4.7	المحافظة على المقياس
182	4.8	كيف يعمل الإسقاط
184	4.9	وسطاء إسقاط الخريطة

186	4.10. أنواع الإسقاط
186	4.10.1. الإسقاط السمّي
187	4.10.1.1. الإسقاط المُعامِد السمّي
187	4.10.1.2. الإسقاط المُجسَّم السمّي
193	4.10.1.3. إسقاط المِرْزُولة
194	4.10.2. الإسقاط المخروطي
198	4.10.3. الإسقاط الأسطواني
199	4.10.3.1. إسقاط ميركاتور
200	4.10.3.1.1. إسقاط ميركاتور المستعرض
206	4.10.3.1.2. نظام إحداثيات ميركاتور المستعرض العالمي
210	4.10.3.1.3. النظام المرجعي للشبكة العسكرية (MGRS)
217	4.10.3.1.4. إسقاط ويب ميركاتور
221	4.11. الإسقاط في برامج نظام المعلومات الجغرافية
222	4.11.1. انتقاء نظام مرجعي للإحداثيات المسقطة
225	4.11.2. إنشاء نظام مرجعي جديد للإحداثيات المسقطة
232	4.11.3. إسقاط البيانات المكانية وتحويلها

246 الفصل 5: العمليات على الإحداثيات

247	5.1. تغيير الإحداثيات
247	5.1.1. بين الجغرافية وأرضية المركز
250	5.1.2. بين الجغرافية ثلاثية الأبعاد والجغرافية ثنائية الأبعاد
254	5.1.3. بين الجغرافية والمسقطة
254	5.2. تحويل الإحداثيات
256	5.2.1. التحويلات في النظام المرجعي للإحداثيات أرضية المركز
256	5.2.1.1. الانتقال أرضي المركز
258	5.2.1.2. طريقة Helmert
261	5.2.1.3. طريقة Molodensky-Badekas
263	5.2.2. التحويلات في النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية
264	5.2.2.1. طريقة Molodensky المختصرة
268	5.2.2.2. الإزاحة الجغرافية

269	5.2.2.3. الإزاحة الجغرافية المعتمدة على شبكة
274	5.2.2.4. تحويل الإحداثيات الجغرافية في برامج نظام المعلومات الجغرافية
276	5.2.2.4.1. تحويل البيانات المكانية بين المراجع الجيوديسية
285	5.2.2.4.2. إنشاء طريقة تحويل جديدة بين المراجع الجيوديسية
291	5.2.2.4.3. إنشاء طريقة تحويل مُسلسلة بين المراجع الجيوديسية
295	5.2.3. التحويلات في النظام المرجعي للإحداثيات الرأسية
295	5.2.3.1. بين الارتفاع الجيوديسي والارتفاع المعتمد على الجاذبية
297	5.2.3.2. الإزاحة الرأسية
297	5.2.3.2.1. الإزاحة الرأسية المعتمدة على معادلة
299	5.2.3.2.2. الإزاحة الرأسية المعتمدة على شبكة
300	5.3. عمليات أخرى على الإحداثيات
304	5.3.1. انتقاء نقاط التحكم وتقييم دقة التحويل
309	5.3.2. أخذ العينات عند تحويل البيانات المتسامية
311	5.3.3. ملف العالم (World File)
315	5.3.4. تحويل التشابه
320	5.3.5. التحويل المتصل
331	5.3.6. التصفيح المطاطي
335	5.3.7. التحويل الإسقاطي
336	5.3.8. التحويل كثير الحدود:
349	5.4. ملخص العمليات على الإحداثيات
351	معجم المصطلحات (عربي - إنجليزي)
367	معجم المصطلحات (إنجليزي - عربي)
383	المراجع
385	الفهرس
401	INDEX
421	عن المؤلف

هذا الكتاب

التقنيات المكانية (أو الجيومكانية) هي أداة لدعم التخطيط والتحليل واتخاذ القرارات ذات الصلة بالمكان، مثل التخطيط والتطوير العمراني، تخطيط المواصلات، التخطيط البيئي، المشروعات الهندسية، إدارة الأزمات والكوارث، الطاقة وإدارة الموارد والتنقيب عنها، الخ، وتدخل في عدد كبير من التطبيقات، مثل أنظمة ملاحة السيارات، إدارة وتسجيل العقارات، والإحصاء، كما تُستخدم التقنيات المكانية أيضاً في التسويق وتحسين الخدمات المقدمة إلى الزبائن.

لكن المكتبة العربية ما زالت فقيرة من الكتب التي تتناول موضوع التقنيات المكانية، نظراً لحداثة هذه التقنيات من جهة ولأسباب عامة متعلقة بالتأليف والترجمة في العالم العربي، وأما ما يصادفه القارئ من كتب فيجدها في معظم الأحيان - على ما بذل فيها من جهد حميد - إما موجهة للمستخدم المبتدئ فهي لا تشفي غليل المتخصص، وإما مغرقة في الجانب النظري والبراهين الرياضية التي لا تتصل مباشرة باحتياجات العمل اليومي ولا توضح كيفية تطبيق هذه المفاهيم وتحويلها إلى أدوات مفيدة في التحليل والتخطيط، أو أنها تغوص في برنامج واحد بعينه وتأخذ القارئ في رحلة طويلة بين القوائم والأزرار وصناديق الحوار، على طريقة "انتقل إلى القائمة كذا وانقر على الزر كذا"، من غير أن تزوده بالأساس الذي بنيت عليه هذه الأدوات.

تتفرع التقنيات المكانية إلى موضوعات مختلفة منها:

- الإحداثيات: نظام الإحداثيات المرجعي والعمليات على الإحداثيات مثل الإسقاط والتحويل بين المراجع الجيوديسية.
- البيانات المكانية: جمعها، وإنشاؤها، وإدارتها.
- التحليل المكاني: استخدام التقنيات المكانية في التحليل والتخطيط واتخاذ القرار في القطاعات المختلفة.
- السياسات والاستراتيجيات ذات الصلة بالتقنيات المكانية.
- العلوم والتقنيات المكانية: نظام المعلومات الجغرافية، الاستشعار عن بعد، التصميم بالحاسوب، النظام العالمي للملاحة بالأقمار الاصطناعية، المساحة، فن إعداد الخرائط.

ونظراً لتشعب هذه الموضوعات والحاجة إلى استيفاء مفاهيمها النظرية وتطبيقاتها العملية بالتفصيل، كان لا بد من تناول التقنيات المكانية في كتب منفصلة يغطي كل واحد منها موضوعاً مختلفاً، فيقدم إلى القارئ خلطة متوازنة من المعلومات النظرية والخبرة العملية التي تساعد على الاستفادة من التقنيات المكانية في زيادة الإنتاجية والتكامل مع عمليات الأعمال في المؤسسة التي يعمل بها،

بالإضافة إلى الاستخدام العملي لمجموعة من البرامج والأنظمة الشائعة بين المستخدمين، ويعرّف المستخدم إلى المواصفات القياسية والاتجاهات الحديثة والسياسات التي ترشد المدير الناجح إلى كيفية إدخال التقنيات المكانية في المؤسسات ووضعها في خدمة أهدافها الاستراتيجية.

يغطي هذا الكتاب موضوع الإحداثيات، وهو موجّه إلى مستخدم التقنيات المكانية لمساعدته على فهم الأساس النظري والتطبيقات العملية لها ويمثل مرجعاً عملياً له للتغلب على مشاكل الإحداثيات ومواءمة البيانات المكانية بحيث يتمكن من إنجاز مهامه اليومية والعمل في المشروعات في مؤسسته بنجاح، ودونما الوقوع في أخطاء ناتجة من عدم درايته بالمفاهيم الأساسية لها، ولذلك يركز الكتاب على التعليمات التقنية لتطبيق هذه المفاهيم، بينما تجيء المعلومات النظرية فيه - وبخاصة ما يتصل منها بالجيوإيديسيا والجيوفيزياء - مبسطة بغرض إيصال المفاهيم الأساسية دون الغوص في القضايا التخصصية.

وعلى الرغم من أن الموضوعات الأخرى في التقنيات المكانية لا تقل أهمية عن الإحداثيات، بل تتجاوزها أهمية إذا ما نظرنا إلى حاجات العمل اليومية، تبقى الإحداثيات حجر الأساس في جميع العلوم والتقنيات المكانية، إذ تتألف البيانات المكانية من الإحداثيات، وبالتالي تؤدي الأخطاء والفروق في النظام المرجعي للإحداثيات إلى تضارب البيانات المكانية وصعوبات في محاذاتها، ما يؤثر على نتيجة التخطيط والتحليل المكاني اللذين يعتمدان بصورة رئيسية على دقة الموقع وصحة الإحداثيات، بالإضافة إلى حداثة البيانات المكانية وشموليتها.

يغطي الكتاب مقدمة عن التقنيات المكانية وأهمية الإحداثيات فيها، والمواصفات القياسية ذات الصلة بالإحداثيات، والأنظمة المرجعية لها، بالإضافة إلى الإسقاطات والعمليات على الإحداثيات، مثل التحويل بين المراجع الجيوإيديسية أو بين المراجع الرأسية، ويشرح التطبيقات العملية من خلال مشاريع تغطي معظم الدول العربية باستخدام مجموعة من البرامج والأنظمة الأكثر شيوعاً وانتشاراً وهي ArcGIS و AutoCAD Map و Oracle Spatial و FME Desktop.

وقد حرصت أثناء تأليف هذا الكتاب على عرض كل ما يحتاج مستخدم التقنيات المكانية إلى معرفته بحيث يغدو الكتاب مرجعه النظري والعملي في الإحداثيات والعمليات عليها، وأرجو أن أكون قد وفّقت إلى ذلك، كما أرجو أن يكون كتابي هذا خطوة أولى نحو تأليف كتب تتناول الموضوعات الأخرى في التقنيات المكانية.

سامر الجودي

samer.joudi@gmail.com

19 صفر 1434 هـ، الموافق 1 كانون الثاني/يناير، 2013 م

الأيقونات المستخدمة في الكتاب

شيء من اللغة



تهدف هذه الفقرة إلى استيقاف القارئ عند المصطلحات المستخدمة في موضوع الإحداثيات، إما لإطلاعه على موضوع في اللغة، أو تعريفه إلى جذور مصطلح ما، أو لتصحيح خطأ لغوي شائع، الخ.

يتضمن المربع كلمة شرق مكتوبة باللغات العربية والروسية والنرويجية واليابانية. وبالمناسبة، أنت تستخدم الكلمة اليابانية to التي تعني شرق، كلما قلت طوكيو، ذلك أن طوكيو تعني العاصمة الشرقية.

انتقلت الكلمة العربية شرق إلى لغات عديدة منها الفارسية والأذرية والأوزبكية والباشكيرية والطاجيكية والتترية، كما انتقلت كلمة مشرق إلى السواحيلية والأوردية.

يمكنك الآن أن تقول كلمة شرق بعشر لغات بطلاقة!

السياسات والاستراتيجيات



تشير هذه الأيقونة إلى السياسات والاستراتيجيات ذات الصلة بنظام الإحداثيات المرجعي في المؤسسة أو الدولة، وهي إحدى المكونات التي تؤثر في أداء التقنيات المكانية تأثيراً ملموساً، إذ تعزز السياسات والاستراتيجيات ذات الصلة بنظام الإحداثيات المرجعي قابلية التشغيل المتبادل (interoperability) فتسمح بتدفق البيانات والخدمات المكانية بين الأنظمة والجهات المختلفة، كما تساعد على الاستخدام الفعال للموارد، وتدعم التعاون والتكامل داخل المؤسسة الواحدة أو بين الجهات داخل الدولة.

خدمات فورية



تتناول فقرة الخدمات الفورية (online) الأدوات المتوفرة على إنترنت ذات الصلة بالإحداثيات والتي يمكن تنفيذها من مستعرض ويب، مثل تحويل الإحداثيات من نظام مرجعي إلى آخر، أو تدل القارئ على بعض البرمجيات المجانية التي يمكن تنزيلها واستخدامها في عمله.

شيء من التاريخ



فقرة "شيء من التاريخ" مخصصة لإطلاع القارئ على إنجازات العلماء العرب والمسلمين في ما له صلة بالإحداثيات وأنظمتها المرجعية.

الطابع البريدي المستخدم للدلالة على فقرة "شيء من التاريخ" هو طابع منشور في الاتحاد السوفياتي في العام 1973 احتفالاً بمرور 1000 عام على ميلاد أبي الريحان البيروني، الذي قاس قطر الأرض بدقة بالغة إلى جانب كثير من الإسهامات الأخرى. هذه الفقرة تشير إلى إنجازات العلماء العرب والمسلمين بصورة عامة وليس البيروني فقط.

البرامج والأنظمة التي يغطيها الكتاب

بالإضافة إلى المعلومات والمفاهيم النظرية، يشرح الكتاب التطبيقات والتعليمات الفنية لتنفيذ هذه المفاهيم باستخدام مجموعة من البرامج والأنظمة الأكثر شيوعاً وانتشاراً وهي ArcGIS و AutoCAD Map و Oracle Spatial و FME Desktop.

اختيرت هذه البرامج والأنظمة بهدف دعم شريحة واسعة من القراء من جهة، ونظراً لأنها تمثل عائلات مختلفة من برامج وأنظمة المعلومات الجغرافية من جهة أخرى، كما أن إنجاز المهام ذات الصلة بالتقنيات المكانية يتطلب في كثير من الأحيان استخدام هذه البرامج والأنظمة معاً.

يوضح الجدول التالي البرامج والأنظمة المستخدمة في هذا الكتاب ويبين العائلات التي تنتمي إليها بالإضافة إلى أمثلة عن برامج وأنظمة شبيهة بها تنتمي إلى ذات العائلة:

البرنامج/النظام	العائلة	برامج/أنظمة شبيهة
ArcGIS for Desktop	برامج نظام المعلومات الجغرافية المكتبية	GeoMedia و MapInfo Professional و Quantum GIS و Professional Desktop
AutoCAD Map	برامج نظام المعلومات الجغرافية المبنية على نظام التصميم بالحاسوب (CAD)	MicroStation و GeoGraphics و Bentley Map
Oracle Spatial and Graph	أنظمة إدارة قواعد البيانات العلائقية (RDBMS) التي تدعم البيانات المكانية ووظائف التحليل المكاني	IBM Informix و SQL Server Spatial و IBM DB2 و Spatial DataBlade و PostGIS و Spatial Extender
FME Desktop	أدوات الاستخراج والتحويل والتحميل (Extract, Load, Transform: ETL) الموجهة للبيانات المكانية	Spatial extension for و GeoKettle و Talend و Data والملحق و Interoperability في ArcGIS المبنى على تقنية FME

جدول عائلات برامج وأنظمة المعلومات الجغرافية

وفيما يلي الأيقونات التي تشير إلى التعليمات الفنية الخاصة بالبرامج والأنظمة التي يغطيها هذا الكتاب:



يُستخدم نظام ArcGIS من شركة esri في تنفيذ شريحة واسعة من مهام نظام المعلومات الجغرافية، بدءاً من إنشاء وتجميع البيانات المكانية والخرائط وتحريرها، ومروراً بمعالجة البيانات المكانية وتحليلها، بالإضافة إلى نشرها ومشاركتها مع المستخدمين والجهات الأخرى، ويعمل على منصات مختلفة.

يتألف برنامج ArcGIS for Desktop من مجموعة من التطبيقات المدججة منها:

- ArcCatalog: يستخدم لإدارة البيانات المكانية وتصفحها، ويوفر الأدوات اللازمة لعرض وإدارة ما وراء البيانات (metadata) لمجموعات البيانات المكانية.
- ArcMap: تطبيق يستخدم لعرض البيانات المكانية وتحريرها والاستعلام عنها، بالإضافة إلى إنشاء الخرائط.
- ArcToolbox: يتضمن هذا التطبيق أدوات المعالجة الجغرافية (geoprocessing) وتحويل البيانات، بالإضافة إلى أدوات التحليل.

تتوفر أيضاً مجموعة من الملاحق (extensions) لبرنامج ArcGIS for Desktop تغطي الاحتياجات المختلفة منها 3D Analyst و Spatial Analyst و Network Analyst و Survey Analyst و Tracking Analyst و Geostatistical Analyst.



برنامج AutoCAD Map 3D من شركة Autodesk برنامج هندسي رائد في مجال إنشاء وإدارة البيانات المكانية. يسهل هذا البرنامج الفجوة بين برمجيات التصميم بالحاسوب (CAD) - التي تعتمد عليها عملية التصميم ومشروعات الإنشاء والتخطيط - وبين برمجيات نظام المعلومات الجغرافية.

يوفر AutoCAD Map 3D للمستخدم وصولاً مباشراً إلى مجموعة كبيرة من هيئات (formats) البيانات المكانية، ويوفر الأدوات التي يشتهر بها برنامج الرسم والتصميم AutoCAD بالإضافة إلى أدوات التحليل المكانية المتوفرة في برمجيات نظام المعلومات الجغرافية الأخرى، ما يسمح بدمج وظائف نظام المعلومات الجغرافية مع عملية التصميم الهندسي في بيئة واحدة أكثر كفاءة.



Oracle Spatial and Graph (سابقاً Oracle Spatial) هو جزء من النسخة المؤسسية (Enterprise) من قاعدة بيانات Oracle ولكنه بحاجة إلى ترخيص مستقل، كما تتوفر الوظائف الأساسية منه مجاناً في النسخ الأدنى من النظام باسم Oracle Locator. يدعم Oracle Spatial and Graph التقنيات المكانية مدمجة في قاعدة البيانات؛ فالبيانات المكانية نوع بيانات أصيل (native data type) كما هي أنواع البيانات الأخرى، كما يوفر الأدوات المطلوبة لإنشاء وتحرير وتحليل وإدارة البيانات المكانية باستخدام تعليمات SQL ما يسمح بتمكين حلول الأعمال المؤسسية المعتمدة على Oracle مكانياً بسهولة ويسر.

توفرت الأدوات المكانية في Oracle منذ الإصدار 4، ولكنها ظهرت رسمياً في الإصدار 7 باسم Spatial Data Option أو SDO. ثم أضيفت إليها مزايا جديدة في الإصدار 8 وسوّقتها Oracle باسم Oracle Spatial. يسمى Oracle Spatial الآن Oracle Spatial and Graph وذلك للتنبيه على مزايا البرنامج ذات الصلة بنمذجة الشبكات والتي ظهرت في الإصدار 10g R1.



FME (Feature Manipulation Engine) هو مجموعة متكاملة من أدوات الاستخراج والتحويل والتحميل (ELT) تنتجها شركة Safe Software الكندية. تستخدم هذه الأدوات لإدارة البيانات المكانية وتحويلها ونقلها من هيئة (format) إلى أخرى، بالإضافة إلى معالجتها باستخدام مجموعة كبيرة من أدوات التحليل والمعالجة والدمج والتدقيق.

لا يحتاج مستخدم أدوات ELT عادة إلى استعراض البيانات لتنفيذ هذه الأدوات، كما يمكنه تعريف عملية جديدة مكونة من سلسلة من العمليات الأساسية.

ظهرت أدوات ELT المكانية في البداية لتعزيز قابلية التشغيل المتبادل بين التطبيقات المختلفة والتغلب على مشكلة تبادل البيانات بين الهيئات المملوكة (proprietary) للشركات والتي تتسم بالانغلاق عادة، لكنها تطورت فيما بعد وأصبحت أدوات أساسية لمساعدة المؤسسات على معالجة البيانات المكانية ودمجها مع الحلول المؤسسية الأخرى.

قائمة الرموز

$1/f$	مقلوب التفلطح
$1:a$	دقة المسافة
a	نصف القطر الكبير لمجسم إهليلجي
$Accuracy_r, Accuracy_z$	الدقة الأفقية والدقة الرأسية
b	دقة فرق الارتفاع
b	نصف القطر الصغير لمجسم إهليلجي
d	المسافة بين نقطتين
d	طول قوس جيوديسي
d	المسافة الأفقية التقريبية بين مواقع نقاط التحكم على طول مسار تسوية
e	خطأ عشوائي خارجي
E	شرقيات
e'^2	مربع اللا مركزية الثانية
e^2	مربع اللا مركزية الأولى
f	التفلطح
FE	شرقيات زائفة
FN	شماليات زائفة
H	ارتفاع أورثومتري أو معتمد على الجاذبية
h	ارتفاع جيوديسي
k_0	عامل المقياس في المبدأ الطبيعي
m	ثابت يستخدم لتمثيل التغير في اتجاه قياس الإحداثيات الرأسية
m_s	عامل مقياس فرق الإحداثيات في نظام الإحداثيات المرجعي المصدر
m_T	عامل مقياس فرق الإحداثيات في نظام الإحداثيات المرجعي الهدف
M_X, M_Y	طول وحدة واحدة من محور نظام الإحداثيات المصدر مقيسة بوحدات محور نظام الإحداثيات الهدف، على المحورين X و Y على الترتيب
n	عدد القياسات
N	شماليات
N	تموج الجيويدي
$N_{\Delta B}$	تأثير شدوذ الجاذبية على تموج الجيويدي
N_{GM}	تموج الجيويدي حسب نماذج الجيويدي العالمية
N_T	التأثير غير المباشر لكتلة التضاريس على تموج الجيويدي
R_A	نصف قطر الكرة مساوية المساحة
R_C	نصف قطر الكرة المطابقة

$RMSE_{min}, RMSE_{max}$	أصغر وأكبر قيمتي الخطأين الأفقيين $RMSE_x$ و $RMSE_y$
$RMSE_r, RMSE_z$	الخطأ الأفقي والخطأ الرأسى
$RMSE_x, RMSE_y$	الخطأ الأفقي في الاتجاهين X و Y
R_x, R_y, R_z	زاوية الدوران بين محوري X و Y و Z بين مجسمين إهليلجيين
SF_L	عامل مقياس الخريطة على طول L
X, Y, Z	الإحداثيات أرضية المركز
X_p, Y_p, Z_p	إحداثيات نقطة أصل المرجع التي تم تدوير المجسم الإهليلجي حولها
X_s, Y_s	الإحداثيات مقيسة على نظام الإحداثيات المصدر
X_{so}, Y_{so}	إحداثيات نقطة التقييم مقيسة على نظام الإحداثيات المصدر
X_T, Y_T	الإحداثيات مقيسة على نظام الإحداثيات الهدف
X_{TO}, Y_{TO}	إحداثيات نقطة مبدأ نظام الإحداثيات المصدر أو إحداثيات نقطة التقييم مقيسة على نظام الإحداثيات الهدف
α_1	الاتجاه الابتدائي
α_2	الاتجاه الخلفى
β	زاوية العرض المختصرة
$\Delta\varphi, \Delta\lambda, \Delta h$	فروق زوايا العرض والطول وفرق الارتفاع
Δa	فرق نصف القطر الكبير بين مجسمين إهليلجيين
Δf	الفرق بين تفلطح مجسمين إهليلجيين
ΔS	الفرق بين حجمي مجسمين إهليلجيين
$\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$	الانزياح بين مركزي مجسمين إهليلجيين على محاور X و Y و Z
$\Delta\sigma$	الزاوية المركزية
ζ	قيمة تصحيح الارتفاع
θ_x, θ_y	الزاويتان اللتان يحتاج محورا X و Y في نظام الإحداثيات المصدر إلى الدوران حولهما لينطبقا مع محوري X و Y في نظام الإحداثيات الهدف
v_φ	نصف قطر الانحناء في النظم الأعظم عند زاوية العرض φ
ρ_φ	نصف قطر الانحناء لخط الزوال عند زاوية العرض φ
σ	انحراف معياري
φ, λ, h	الإحداثيات الجغرافية (زاويتا العرض والطول وقيمة الارتفاع)
φ_0, λ_0	الإحداثيات الجغرافية لمبدأ الإسقاط (زاوية عرض المبدأ الطبيعي أو دائرة العرض المركزية وزاوية طول المبدأ الطبيعي أو خط الزوال المركزي)
$\varphi_s, \lambda_s, h_s$	الإحداثيات الجغرافية لنقطة في نظام الإحداثيات المصدر
$\varphi_T, \lambda_T, h_T$	الإحداثيات الجغرافية لنقطة في نظام الإحداثيات الهدف
χ, Λ	الإحداثيات المطابقة المكافئة للإحداثيات الجغرافية (φ, λ)
χ_0, Λ_0	الإحداثيات المطابقة المكافئة للإحداثيات الجغرافية (φ_0, λ_0) لمبدأ الإسقاط

قائمة الاختصارات

1SP: one standard parallel	موازي قياسي واحد
2SP: two standard parallels	موازيان قياسيان
3D: three-dimensional	ثلاثي الأبعاد
A/E/C: Architecture, Engineering, Construction	العمارة والهندسة والإنشاء
A-GPS or aGPS: assisted global positioning system	نظام تحديد المواقع العالمي المعزز
AMSDAS: Australian Map and Spatial Data Horizontal Accuracy Standard	المواصفة القياسية الأسترالية للدقة الأفقية في الخرائط والبيانات المكانية
ASPRS: American Society for Photogrammetry and Remote Sensing	الجمعية الأمريكية للمساحة التصويرية والاستشعار عن بعد
B.M: bench mark	علامة منسوب أو نقطة تحكم رأسية
BI: business intelligence	ذكاء الأعمال
CAD: computer aided design	تصميم بالحاسوب
CCD: charge-coupled device	جهاز مزدوج الشحنة
CCRS: compound coordinate reference system	نظام مرجعي للإحداثيات المركبة
CM: central meridian	خط زوال مركزي
COMPD_CS: compound coordinate reference system	نظام مرجعي للإحداثيات المركبة
CRM: customer relationship management	إدارة علاقات الزبائن
CRS: coordinate reference system:	نظام إحداثيات مرجعي
CS: coordinate system	نظام إحداثيات
CTS: coordinate transformation service	خدمة تحويل الإحداثيات
DD: decimal degree	درجة عشرية
deg: degree	درجة
DEM: digital elevation model	نموذج ارتفاع رقمي
DGPS: differential global positioning system	نظام تحديد المواقع العالمي التفاضلي
DLT: direct linear transformation	التحويل الخطي المباشر
DMS: degree minute second	درجة دقيقة ثانية
DORIS: Doppler orbitography and radiopositioning integrated by satellite:	رسم المدارات والتحديد الراديوي للمواقع بدوبلر المدمجة في القمر الاصطناعي

DSM: digital surface model	نموذج سطح رقمي
DTM: digital terrain model	نموذج تضاريس رقمي
ECEF: earth-centered, earth-fixed	ثابت ومتمركز مع الأرض
EGM2008: Earth Gravitational Model 2008	نموذج جاذبية الأرض للعام 2008
EGM96: Earth Gravitational Model 1996	نموذج جاذبية الأرض للعام 1996
EPSG: European Petroleum Survey Group	مجموعة المساحة النفطية الأوروبية
ESA: European Space Agency	وكالة الفضاء الأوروبية
ETL: extract, transform, and load	استخراج وتحويل وتحميل
FGDC: Federal Geographic Data Committee	اللجنة الاتحادية للبيانات الجغرافية
FE: false easting	شرقيات زائفة
FGCC: Federal Geodetic Control Committee	لجنة التحكم الجيوديسي الاتحادية
FM: Facility Management	إدارة المرافق
FN: false northing	شماليات زائفة
GEOCCS: geocentric coordinate reference system	نظام مرجعي للإحداثيات أرضية المركز
GeogCRS or GEOGCS: geographic coordinate reference system	نظام مرجعي للإحداثيات الجغرافية
GEOREF: world geographic reference system	النظام المرجعي الجغرافي العالمي
GIS: geographic information system	نظام المعلومات الجغرافية
GNSS: global navigation satellite system	نظام عالمي للملاحة بالأقمار الاصطناعية
GPS: global positioning system	نظام تحديد المواقع العالمي
HAE: height above ellipsoid	ارتفاع فوق الجسم الإهليلجي
ICSM: Intergovernmental Committee on Surveying and Mapping	اللجنة الدائمة للمعلومات الطبوغرافية في اللجنة الحكومية للمساحة وإعداد الخرائط
IERS: International Earth Rotation and Reference Systems Service	الخدمات الدولية لدوران الأرض والأنظمة المرجعية
IPS: indoor positioning system	نظام تحديد المواقع داخل المباني
IRM: International Reference Meridian	خط الزوال المرجعي الدولي
IRP: International Reference Pole	القطب المرجعي الدولي
ITRF: International Terrestrial Reference Frame	إطار مرجعي أرضي دولي
ITRS: International Terrestrial Reference System	نظام مرجعي أرضي دولي
IUGG: International Union of Geodesy and Geophysics	الاتحاد العالمي للجيوديسيا والجيوفيزياء
LADAR: laser detection and ranging	لادار

LAT: lowest astronomical tide	أدنى جزر فلكي
LBS: location-based service	خدمة معتمدة على الموقع
LIDAR: light detection and ranging	ليدار
LLR: lunar laser ranging	سبر القمر بالليزر
ln: natural logarithm	اللوغاريتم الطبيعي أو النيري
LPS: local positioning system	نظام تحديد المواقع المحلي
LRS: linear referencing system	نظام إسناد طولي
MGRS: military grid reference system	النظام المرجعي للشبكة العسكرية
min: arc-minute	دقيقة قوسية
MSL: mean sea level	متوسط منسوب البحر
NGA: National Geospatial-Intelligence Agency	وكالة الاستخبارات الجيومكانية الوطنية الأمريكية
NGN: national geodetic network	شبكة جيوديسية وطنية
NIMA: National Imagery and Mapping Agency	وكالة التصوير والخرائط الوطنية
NMAS: United States National Map Accuracy Standards	المواصفات القياسية الوطنية لدقة الخرائط في الولايات المتحدة
NOC: no objection certificate	شهادة عدم ممانعة
NSDI: National Spatial Data Infrastructure	البنية التحتية للبيانات المكانية الوطنية
OGC: Open Geospatial Consortium	الاتحاد الجيومكاني المفتوح
OGP: International Association of Oil & Gas Producers	الرابطة الدولية لمنتجي النفط والغاز
OSGeo: Open Source Geospatial Foundation	المؤسسة الجيومكانية للمصادر المفتوحة
ProjCRS: projected coordinate reference system	نظام مرجعي للإحداثيات المُسقطة
rad: radian	راديان
RADAR: radio detection and ranging	رادار
RMSE: root-mean-square error	خطأ متوسط التربيع
ROI: return on investment	عائد على الاستثمار
RPC: rational polynomial coefficients	المعاملات كثيرة الحدود الكسرية
RS: remote sensing	استشعار عن بعد
RTK: Real Time Kinematic	رصد متحرك في الوقت الحقيقي
SDI: spatial data infrastructure	البنية التحتية للبيانات المكانية
SDSS: spatial decision support systems	نظام دعم القرار المكاني
sec: arc-second	ثانية قوسية
SF: scale factor	عامل الحجم (بين مجسمين إهليلجين)

SF: scale factor	عامل المقياس (في الخريطة)
SLA: service-level agreement	اتفاقية مستوى الخدمة
SLR: satellite laser ranging	سبر الأقمار الاصطناعية بالليزر
SRID: spatial reference system identifier	مُعرّف النظام المرجعي المكاني
SRTM: Shuttle Radar Topography Mission	مهمة المسح الراداري للتضاريس من مكوك الفضاء Shuttle
SSH: sea surface height	ارتفاع سطح البحر
SST: sea surface topography	طوبوغرافية سطح البحر
TM: Transverse Mercator	إسقاط ميركاتور المستعرض
TRF: terrestrial reference frame	إطار مرجعي أرضي
UAV: unmanned aerial vehicle	طائرة بدون طيار
UPS: Universal Polar Stereographic	نظام الإحداثيات الجسّم القطبي العالمي
UTM: Universal Transverse Mercator	إسقاط ميركاتور المستعرض العالمي
VD: deflection of vertical, or, vertical deflection	انحراف الشاقول أو انحراف الرأس
VERT_CS or VertCRS: vertical coordinate reference system	نظام مرجعي للإحداثيات الرأسية
VLBI: very long base-line interferometry	تداخل خط الأساس الطويل جداً
WCTS: web coordinate transformation service	خدمة تحويل الإحداثيات على ويب
WKB: well-known binary	هيئة ثنائية معروفة
WKT: well-known text	نص معروف

التقنيات المكانية والإحداثيات

يُعد استخدام التقنيات المكانية في دعم الأعمال واتخاذ القرارات ذات الصلة بالمكان، وهو أمر عديد هائل من البيانات المكانية من مصادر مختلفة، لكن الإحداثيات لها دور أساسي في الوصول إلى الناتج دقيقة أثناء التحليل وعند اتخاذ القرار.

لنناقش في هذا الفصل موضوعات مُهمّة منها:

- التقنيات المكانية ومكوناتها
- البيانات المكانية والإحداثيات
- أهمية الإحداثيات وحقائق عنها
- الحصول على الإحداثيات
- أنواع الإسناد المكاني

1. التقنيات المكانية والإحداثيات

1.1. التقنيات المكانية

يطلق مصطلح التقنيات المكانية (spatial technologies) أو التقنيات الجيومكانية (geospatial technology) على العلوم والتقنيات المتعلقة بجمع وتحليل وتفسير وتوزيع واستخدام المعلومات عن الأماكن على سطح الأرض أو بالقرب منه، مثل العمران، البنية التحتية والخدمات من طرق وخطوط سكك حديدية وشبكة اتصالات ومياه وكهرباء وصرف صحي، البيئة والزراعة، المشافي والمراكز الصحية، الخ، بهدف تطوير صورة تفصيلية مفهومة عن المكان الذي نعيش فيه، ثم تحليله، واتخاذ القرارات الصحيحة.



الشكل 1-1 التقنيات المكانية هي أداة لدعم العمليات واتخاذ القرارات ذات الصلة بالمكان

التقنيات المكانية هي أداة لدعم عمليات الأعمال (business operations) واتخاذ القرارات ذات الصلة بالمكان، مثل التخطيط والتطوير العمراني، تخطيط المواصلات، التخطيط البيئي، المشروعات الهندسية، إدارة الأزمات والكوارث، الطاقة وإدارة الموارد والتنقيب عنها، الخ، وتدخل في عدد كبير من التطبيقات، مثل أنظمة ملاحة السيارات، إدارة وتسجيل العقارات، الإحصاء، كما تستخدم التقنيات المكانية أيضاً في التسويق وتحسين الخدمات المقدمة إلى الزبائن.

تستخدم التقنيات المكانية اليوم في جميع القطاعات، وتدعم الأنشطة اليومية في الإدارات المختلفة. وفيما يلي أمثلة عن تطبيقات التقنيات المكانية في هذه القطاعات:

- **البلديات والتخطيط العمراني:** ما هي المواقع التي يمكن للمطورين تخطيطها لبناء مدينة سياحية؟ المطلوب أن تتمتع تربتها بشروط جيوفيزيائية مناسبة ولا تحتاج إلى الكثير من أعمال الحفر والردم ولا تقل مساحتها عن 5 كيلومتر مربع ولا تبعد أكثر من 5 كيلومتر عن المطار الدولي وليس فيها أي محميات بيئية؟
- **البنية التحتية والخدمات والاتصالات:** من هم المشتركون في خدمة إنترنت الذين

ستنقطع عنهم الخدمة عند ترقية بوابة إنترنت هذه؟ ما هي الميول المناسبة لشبكة الصرف الصحي بحيث لا تدفع شركة خدمات الصرف الصحي نفقات إضافية لأعمال الحفر؟ أين الفاقد في الكهرباء وهل هو ناتج من استجرار غير قانوني للتيار الكهربائي؟

• **المواصلات:** ما أفضل مسار لمركبات المواصلات العامة بين منطقتين؟ لماذا ارتفعت حوادث المرور على هذا الشارع وهل للأمر علاقة باللوحات الإعلانية المثبتة حديثاً؟ أين هي المطبات المرورية التي لا تصل إليها إنارة أعمدة الإنارة في الشوارع الداخلية؟

• **الصحة:** هل تستطيع سيارات الإسعاف إيصال المرضى إلى أقرب مركز للإسعاف خلال 15 دقيقة بحد أقصى؟ ما العلاقة بين المرضى المصابين بالطفح الجلدي الذين راجعوا المراكز الصحية خلال الشهر الحالي؟ هل يسكنون في منطقة واحدة؟

• **التعليم:** أين يجب بناء مدرسة جديدة؟ ما هي المناطق التي يزيد فيها عدد المدارس الخاصة عن المستوى المسموح بالمقارنة مع عدد السكان في تلك المناطق؟

• **الموارد البيئية والطبيعية:** ما هي المناطق التي يجب منع البناء فيها للمحافظة على نبات مهدد بالانقراض؟ أين المواقع المحتملة للنفط بحيث تباشر شركات التنقيب أعمال الاستكشاف؟

• **المال والأعمال:** ما أفضل موقع لافتتاح مقهى فاخر في المدينة؟ أين يسكن الأشخاص ذوو الدخل المرتفع؟ أين يجب إطلاق هذه الحملة الإعلانية؟

• **الأمن والسلامة العامة:** ما هي المساحة التي ستغرق في تعرض هذا السد لأعمال تخريبية؟ وكم نحتاج من الوقت لإجلاء السكان؟

إنشاء البيانات المكانية وإدخال التقنيات المكانية في المؤسسات ليس هدفاً بحد ذاته، بل هو أداة لتعزيز الحلول والأنشطة المؤسسية من خلال دمج البعد المكاني معها. ينتج من ذلك حلول وأنشطة مؤسسية ممكنة مكانياً (spatially enabled)، ما يساعد على تنفيذ العمليات بفعالية أكبر وبتكلفة أقل مع عائد على الاستثمار (return on investment: ROI) أكبر.

ومن الأمثلة على الحلول والأنشطة المؤسسية الممكنة مكانياً:

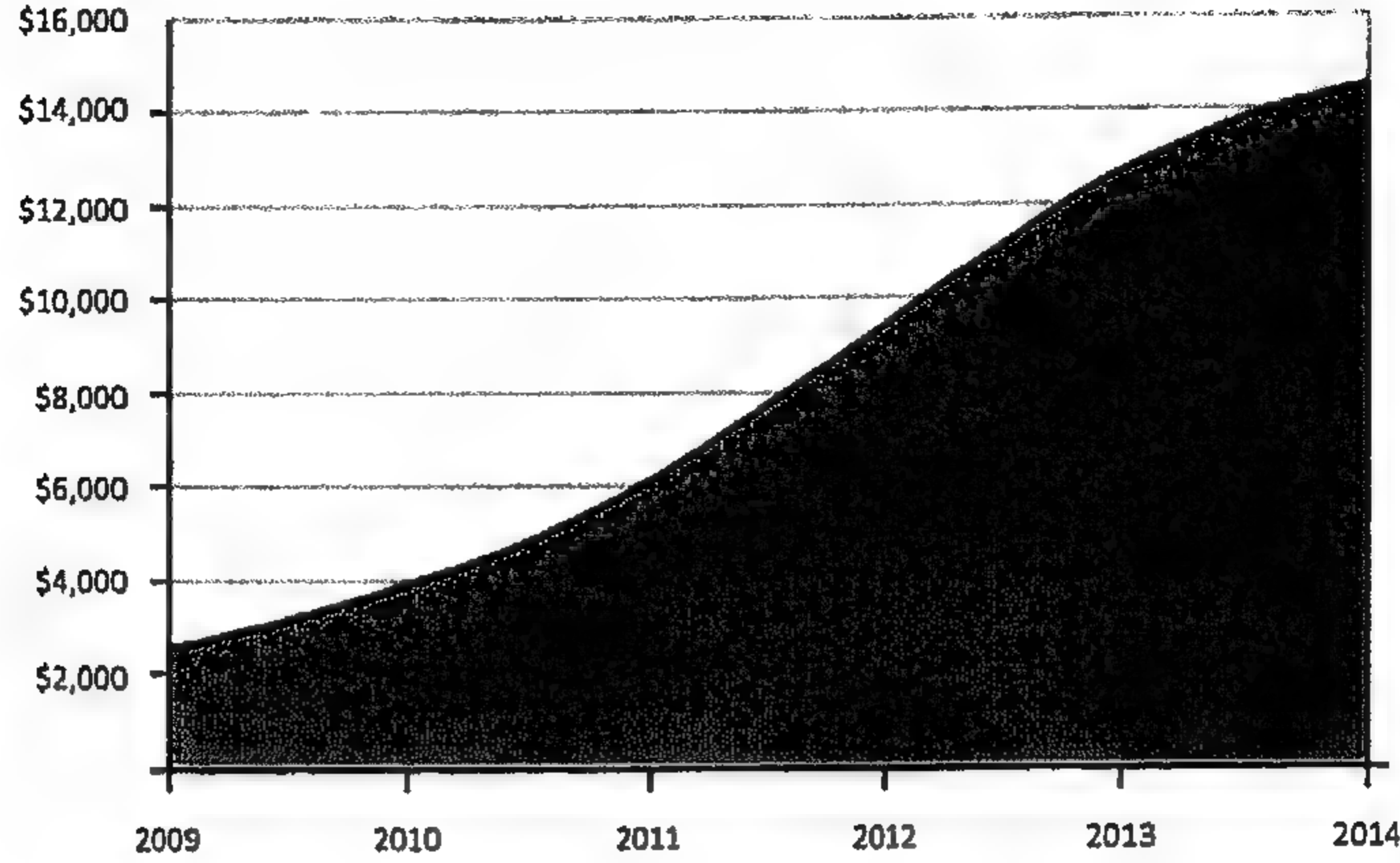
• يساعد نظام إدارة الأصول (asset management) الممكن مكانياً على حصر الأصول وتوفير المعلومات الدقيقة عنها، بما في ذلك مواقعها وحالتها الفيزيائية وسجلات عمليات الصيانة ذات الصلة، ما يعني تقديم خدمات مؤسسية أفضل من خلال التخطيط والتنسيق الأمثل لعمليات الصيانة التصحيحية والوقائية وإدارة الأعطال وانقطاع الخدمة.

- يسمح نظام إدارة علاقات الزبائن (customer relationship management: CRM) الممكن مكانياً بفهم سلوك الزبائن واستخدام أدوات التخطيط والتحليل لتوجيه خدمات المؤسسة حسب المناطق الجغرافية.
- تعزز التقنيات المكانية نظام إدارة القوى العاملة المتنقلة (mobile workforce management) وتقدم حلولاً لزيادة الإنتاجية ومتابعة سير العمل فيما يتعلق بالخدمات الميدانية، مثل إدارة الطلبات وجدولة وتوزيع مهام العاملين الميدانيين، ومتابعة اتفاقيات مستوى الخدمة (service level agreements: SLA's)، وتوقع حجم المهام المستقبلية والتوزيع الأمثل لفرق العمل.
- يعتمد التسويق الجيومكاني (geomarketing) على دمج التقنيات المكانية مع مختلف جوانب التسويق، بما في ذلك المبيعات والتوزيع وتحليل الأسواق. ومن الأمثلة على ذلك تحديد الموقع الأمثل لمركز توزيع جديد، عرض اتجاهات السوق واحتياجات المستهلكين وتخطيط الحملات التسويقية حسب المنطقة الجغرافية.
- يمثل نظام دعم القرار المكاني (spatial decision support systems: SDSS) النسخة المكانية من تطبيقات ذكاء الأعمال (business intelligence: BI) ويستخدم في اتخاذ القرارات وحل المشكلات ذات الطبيعة المكانية، مثل إدارة أداء وكفاءة الأعمال وتخطيط الموارد وأولية المشروعات حسب المنطقة الجغرافية.

من ناحية أخرى، أدى ازدهار الاتصالات في أواخر التسعينيات من القرن الماضي وارتفاع أعداد المشتركين بخدمة الهاتف المتحرك إلى ظهور الخدمات المعتمدة على الموقع (location-based service: LBS). وتعتمد الفكرة على تقديم خدمات ذات صلة بالمنطقة الجغرافية التي يتصل المشترك منها بالشبكة من خلال تطبيقات يمكن الوصول إليها من الأجهزة المحمولة مثل الهواتف الذكية (smart phones) والأجهزة اللوحية (tablets). ومن هذه الخدمات ما يتصل بالترفيه والحياة الشخصية مثل البحث عن صديق أو أقرب مطعم أو صراف آلي، وتقديم المعلومات للمستخدم عند دخوله منطقة جغرافية مثل الإعلان عن تنزيلات كبرى في مركز تسوق قريب، بالإضافة إلى رسائل التنبيه بوجود ازدحام مروري أو حادث في المنطقة المجاورة. وتشمل الخدمات المعتمدة على الموقع أيضاً الملاحة التوجيهية (turn-by-turn navigation) وخدمات التوصيل (delivery) وإدارة الأساطيل (fleet management) الخ.

يتوقع نمو سوق الخدمات المعتمدة على الموقع في السنوات القادمة بسرعة، وتقدر دراسة منشورة في تقرير أعدته شركة TCS أن تنمو أرباح هذا السوق حول العالم ليصل إلى 14.7 مليار دولار أمريكي بحلول العام 2014 (TeleCommunication Systems, 2010).

مليون دولار أمريكي



الشكل 1-2 توقعات نمو الأرباح في سوق الخدمات المعتمدة على الموقع



يبدو أن للرقم 80 منزلة سحرية في التقنيات المكانية، إذ طبقاً لدراسات مختلفة فإن "80% من جميع المعلومات المخزنة في وسائط رقمية لدى الجهات الحكومية لها صلة بمواقع جغرافية" (Franklin, et al., 1992)، وتشير التقديرات إلى أن "80% من المعلومات في القطاع الحكومي تتضمن مكونات جغرافية" (Grant, 1999)، وأن ما لا يقل عن "80% من عمليات اتخاذ القرار في القطاعين العام والخاص تقوم على بعض الجوانب المكانية" (Østensen, 2001)، وأن "تجارب من الدول الغنية تظهر أن المعلومات المكانية تؤثر في 80% من عملية اتخاذ القرار البشري" (Ryttersgard, 2001).

1.1.1 مكونات التقنيات المكانية

التقنيات المكانية مجموعة مختلفة من العلوم والتقنيات، من أهمها:

- نظام المعلومات الجغرافية (geographic information system: GIS): جمع وتخزين وإدارة وعرض ومعالجة وتحليل البيانات المكانية.
- الاستشعار عن بعد (remote sensing: RS): قياس أو اكتساب معلومات عن خصائص نشاط بشري أو ظاهرة طبيعية، بواسطة جهاز تسجيل (غالباً من الطائرة أو

القمر الاصطناعي). يوفر الاستشعار عن بعد معلومات قيمة عن نمو المناطق الحضرية، التغير البيئي، آثار الكوارث الطبيعية، فضلاً عن الطقس والمناخ.

النظام العالمي للملاحة بالأقمار الاصطناعية (global navigation satellite system: GNSS): تحديد إحداثيات المواقع باستخدام الأقمار الاصطناعية، مثل نظام تحديد المواقع العالمي (Global Positioning System: GPS أو نظام GLONASS الخ.

التصميم بالحاسوب

(computer aided design: CAD): استخدام الحاسوب في

عملية التصميم وتوثيقه. يُنفذ التخطيط الحضري وتصميم المشروعات الإنشائية الكبرى باستخدام برمجيات التصميم بالحاسوب، ولذلك تُعدّ مصدراً مهماً للبيانات المكانية.

المساحة (survey): تحديد مواقع

النقاط والمسافات والزوايا بينها، بدقة، والحصول على معلومات وقياسات عن المعالم الطبيعية والصناعية لمنطقة ما، باستخدام وسائل متعددة.

الشكل 1-3 تشمل التقنيات المكانية مجموعة من العلوم والتقنيات



فن إعداد الخرائط (cartography): تمثيل البيانات المكانية على خرائط، باستخدام أساليب وعلوم وفنون، بغية نمذجة الواقع بطريقة تسمح بإيصال المعلومات المكانية بفعالية.

مصطلح القمر الصناعي خطأ شائع، فصناعي تقابل industrial في الإنجليزية، بينما اصطناعي تقابل artificial. المصطلح الأصلي في الإنجليزية هو artificial satellite أي (قمر) تابع اصطناعي، تمييزاً عن التابع الطبيعي natural satellite أي الأجرام الطبيعية التي تدور حول الأرض مثل القمر.

1.1.2. الجيوماتيكس والتقنيات المكانية

الجيوماتيكس (Geomatics) مصطلح علمي حديث نسبياً، وضعه Dubuisson العام 1969 بهدف الجمع بين مصطلحي الجيوديسيا والجيومعلوماتية (Geoinformatics)، ويشمل الأدوات والتقنيات المستخدمة في المساحة، الاستشعار عن بعد، رسم الخرائط، نظام المعلومات الجغرافية، النظام العالمي للملاحة بالأقمار الاصطناعية، المساحة التصويرية، والجغرافيا، ما يعني أن الجيوماتيكس والتقنيات المكانية مصطلحان مترادفان.

استخدم هذا المصطلح في الأصل في كندا، حيث يمكن استخدامه بصورة موحدة في الدولة، سواء في المقاطعات التي تتحدث بالفرنسية أو الإنجليزية. لكن استخدامه انتشر خارج كندا، فاستخدمته مجموعة من الهيئات الدولية، وتسمى اللجنة الفنية المسؤولة في ISO عن المواصفات القياسية ذات الصلة بالتقنيات المكانية لجنة المعلومات الجغرافية/الجيوماتيكس (ISO/TC211, Geographic information/Geomatics).

1.1.3. جغرافي أم مكاني أم جيومكاني؟

تستخدم المصطلحات الثلاثة "جغرافي" و"مكاني" و"جيومكاني" في واقع الحال وكأنها مصطلحات مترادفة، ولكن من المفيد فهم ما بينها من فروق.

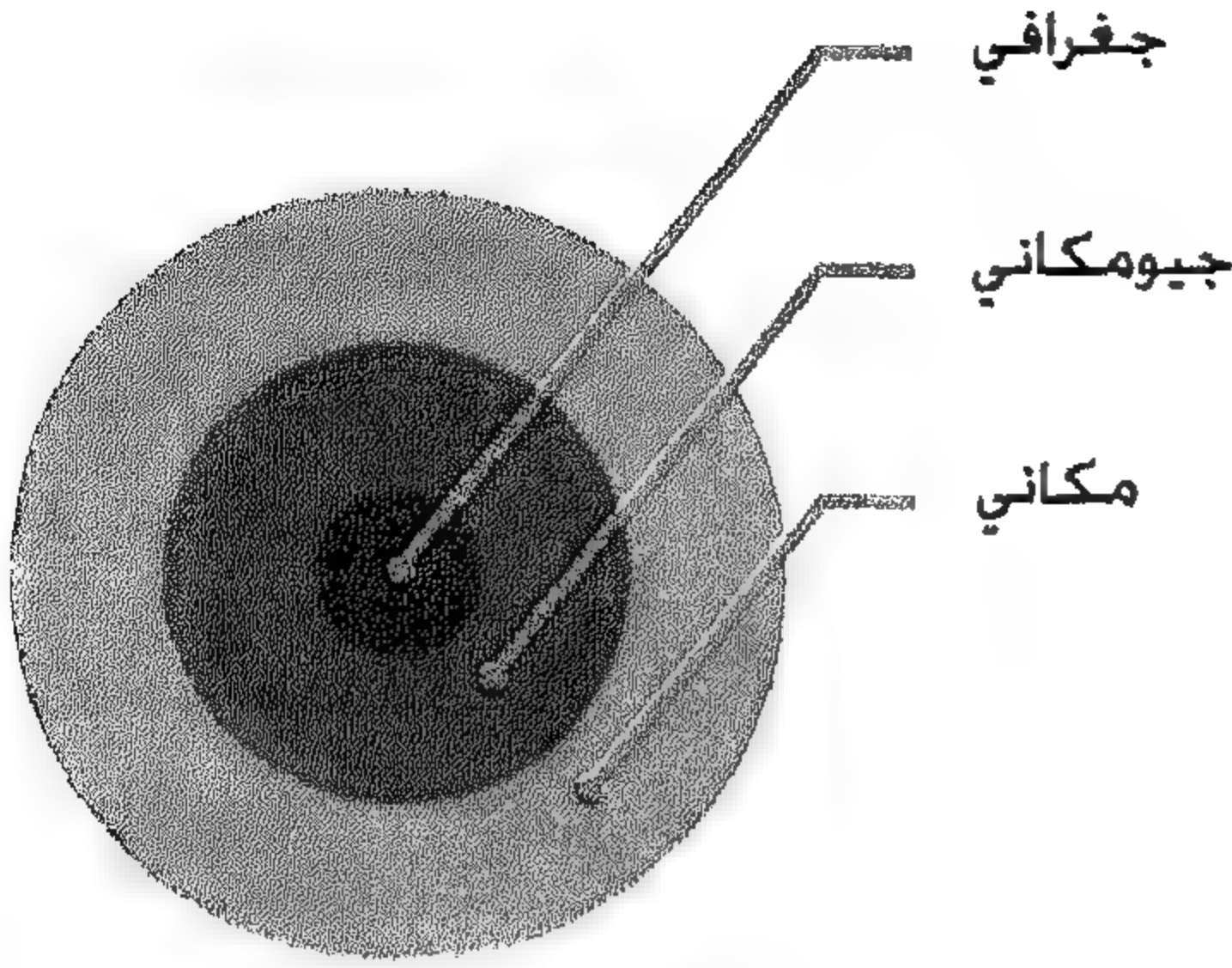
تشير كلمة "جغرافي" (geographic) إلى شيء ذي صلة بعلم الجغرافيا؛ أي دراسة سطح الأرض، وبالتالي تُعدّ البيانات الجغرافية جزءاً مهماً من البيانات المكانية، بل تشكل فئة فرعية كبرى منها. ولكن البيانات المكانية تشمل مجموعة من البيانات لا يعني بها علم الجغرافيا، عادةً، مثل الإشارات الضوئية التي تنظم حركة المرور في الشارع، والتي تُمثّل بمجموعة من النقاط على خريطة البيانات المكانية وتشكل جزءاً مهماً منها.



كلمة Spatial مشتقة من "المكان أو الحيز" (spatium) في اللاتينية، و-geo هي بادئة مأخوذة من كلمة Gē اليونانية التي تعني الأرض.

بدأت كلمة "مكاني" (spatial) تشق طريقها منذ فترة لتحل محل "جغرافي"، وتشير هذه الكلمة إلى الملامح أو الظواهر الموزعة في المكان ثلاثي الأبعاد، وتستخدم هذه الكلمة في العديد من الأنظمة التي تدعم التقنيات المكانية مثل Oracle Spatial و SQL Server Spatial. لكن النقد الذي يتعرض له استخدام مصطلح "مكاني"، أن المكان لا يشمل سطح الأرض فقط، بل أي

مكان آخر، مثل سطح كوكب المريخ.



الشكل 4-1 مجال المصطلحات الثلاثة؛ جغرافي ومكاني وجيومكاني

"جيومكاني" (geospatial) هي كلمة أخرى، نشأت في أوساط المشتغلين بالتقنيات المكانية لتضييق معنى "مكاني"، بحيث تقتصر على سطح الأرض، وذلك بإضافة البادئة geo- التي تعني الأرض. ومن الهيئات التي تستخدم هذه الكلمة الاتحاد الجيومكاني المفتوح (Open Geospatial Consortium: OGC) وهي هيئة تضع المواصفات القياسية للتقنيات المكانية.

أما المنظمة الدولية للمواصفات القياسية (ISO) فتعرّف المعلومات الجغرافية بأنها "المعلومات عن الظواهر التي ترتبط ضمناً أو صراحة بمواقع ذات صلة بالأرض"، ولذلك تبدأ معظم مواصفاتها بعبارة "المعلومات الجغرافية" ثم موضوع المواصفة مثل المواصفة القياسية - ISO 19113 Geographic information - Quality Principles.

ومع ذلك تتردد الكلمات مكاني وجيومكاني كثيراً ضمن هذه الوثائق، بل تتضمن عناوين بعض هذه المواصفات كلمة "مكاني" مثل المواصفة القياسية Geographic - ISO 19111 information - Spatial referencing by coordinates والمواصفة القياسية - ISO 19107 Geographic information - Spatial schema، وكذلك تظهر كلمة "جيومكاني" في عنوان المواصفة القياسية Geospatial Digital Rights Management - ISO/DIS 19153 Reference Model. وبالإضافة إلى ذلك فإن بعض مجموعات العمل في اللجنة الفنية ISO/TC 211 المسؤولة عن هذه المواصفات القياسية تحمل كلمة جيومكاني في مسماتها مثل مجموعة عمل الخدمات الجيومكانية.

يمكننا إذاً أن نقول أن المصطلحات الثلاثة مترادفة من الناحية العملية، لأن نظام المعلومات الجغرافية المستخدم منذ عقود توسّع في معنى البيانات الجغرافية ورسخ إطلاق هذا المصطلح على البيانات الجيومكانية بجميع أنواعها، كما إن الحديث عن البيانات المكانية يُقصد منه في الحقيقة الحديث عن البيانات ذات الصلة بـ سطح الأرض، وليس أماكن أخرى من الكون.



كان العرب يسمون الخريطة الصورة، ولذلك يسمي المسعودي الخريطة التي عملها في عهد الخليفة المأمون "الصورة المأمونية"، ويسمي البلخي كتابه "صور الأقاليم"، وكذلك الصوفي الذي رسم خرائط النجوم في كتابه "صور الكواكب الثمانية والأربعين"، أما الخريطة في العربية فتعني الوعاء الذي يُشدّ على ما فيه من الطعام أو المال أو الأوراق إلخ ويكون أحياناً من جلد، وجمعها خرائط، وأما الخارطة فهي الكاذبة أو الدابة الجموح إلخ وجمعها خُرُط.

خريطة وخارطة كما نستعملها اليوم هي على الأرجح تعريب لفظي للكلمة اليونانية χάρτης (خارتيس) التي تعني الورقة أو الخريطة والتي انتقلت إلى كثير من لغات العالم (ومنها chart الإنجليزية وcarte الفرنسية). استخدم البحار العثماني پيرى رئيس كلمة "خُرُطي" في الخريطة التي نشرها في العام 1513، واستخدم كلمة "خريطه" في كتابه "كتاب بحريت"، كما ظهرت كلمة "خارطة" في عدة مصادر منها الأطلس المطبوع في "مطبعة المرسلين الأميركيين" في مالطا العام 1831 بعنوان "أطلس أي مجموع خارتات رسم الأرض"، وفي كتاب "نهر الذهب في تاريخ حلب" للغزي، وظهرت في خريطة مطبوعة في بيروت العام 1893 في "مطبعة الأميركيين" بعنوان "خارطة مستحدثة لولايات المملكة العثمانية في آسيا"، ما يدل على انتقال الكلمة اليونانية إلى العربية من عدة طرق، ويفسر ظهور كلمتي خارطة وخريطة معاً في اللغة العربية المعاصرة.

بقي أن تعلم أن الخريطة تسمى في الفارسية والأوردية "نقشه".

1.2. البيانات المكانية

بصورة عامة يمكننا تقسيم البيانات إلى نوعين:

- بيانات مكانية (spatial data, geospatial data, or geographic information): وهي المعلومات عن الظواهر التي ترتبط ضمناً أو صراحة بمواقع ذات صلة بالأرض، كما مر معنا.
- بيانات غير مكانية (aspatial data or non-spatial data): وهي المعلومات التي تفتقر إلى العنصر المكاني مثل لائحة بأسماء العصائر الطازجة.

تظهر بعض البيانات للوهلة الأولى وكأنها بيانات غير مكانية لكنها في الحقيقة تتضمن معلومات يمكن استنتاج المواقع منها. وكمثال على ذلك، يبين الجدول التالي معلومات عن الزبائن لدى شركة من غير أن يتضمن عناوين إقامتهم، ومع ذلك تُصنّف هذه البيانات في فئة البيانات المكانية لأن عنوان الإقامة يمكن استنتاجه من رقم الهاتف:

الرقم	اسم الزبون	رقم الهاتف	الاهتمامات
1	سامر	+971 (4) XXXXXX	الكتب
2	محمود	+971 (6) XXXXXX	الطعام الصحي
3	عمرو	+971 (4) XXXXXX	الإلكترونيات
4	وليد	+971 (4) XXXXXX	أدوات الصيد

الجدول 1-1 جدول بمعلومات زبائن شركة لا يتضمن عناوين إقامتهم

ولا يقتصر استنتاج عنوان الإقامة من رقم الهاتف على معرفة المدينة التي يقيم بها كل زبون فقط من خلال بداية رقم الهاتف، بل نستطيع ربط هذه الأرقام بمعلومات أخرى تفصيلية من شركة الاتصالات التي تقدم خدمات الهاتف الثابت وبذلك يمكننا تحديد رقم المبنى والشارع الذي يقيم فيه الزبون بدقة.

تتوفر البيانات المكانية غالباً في ملفات أو قواعد بيانات، وتتضمن هذه البيانات كائنات (objects or entities) هي الأشياء التي نريد تمثيلها كالمباني والشوارع وخطوط الكهرباء والغابات وحدود المناطق التي تعاني من تلوث، الخ، وتتضمن البيانات المكانية بالإضافة إلى الكائنات معلومات وصفية ذات صلة بهذه الكائنات تسمى بصورة عامة خصائص (properties).



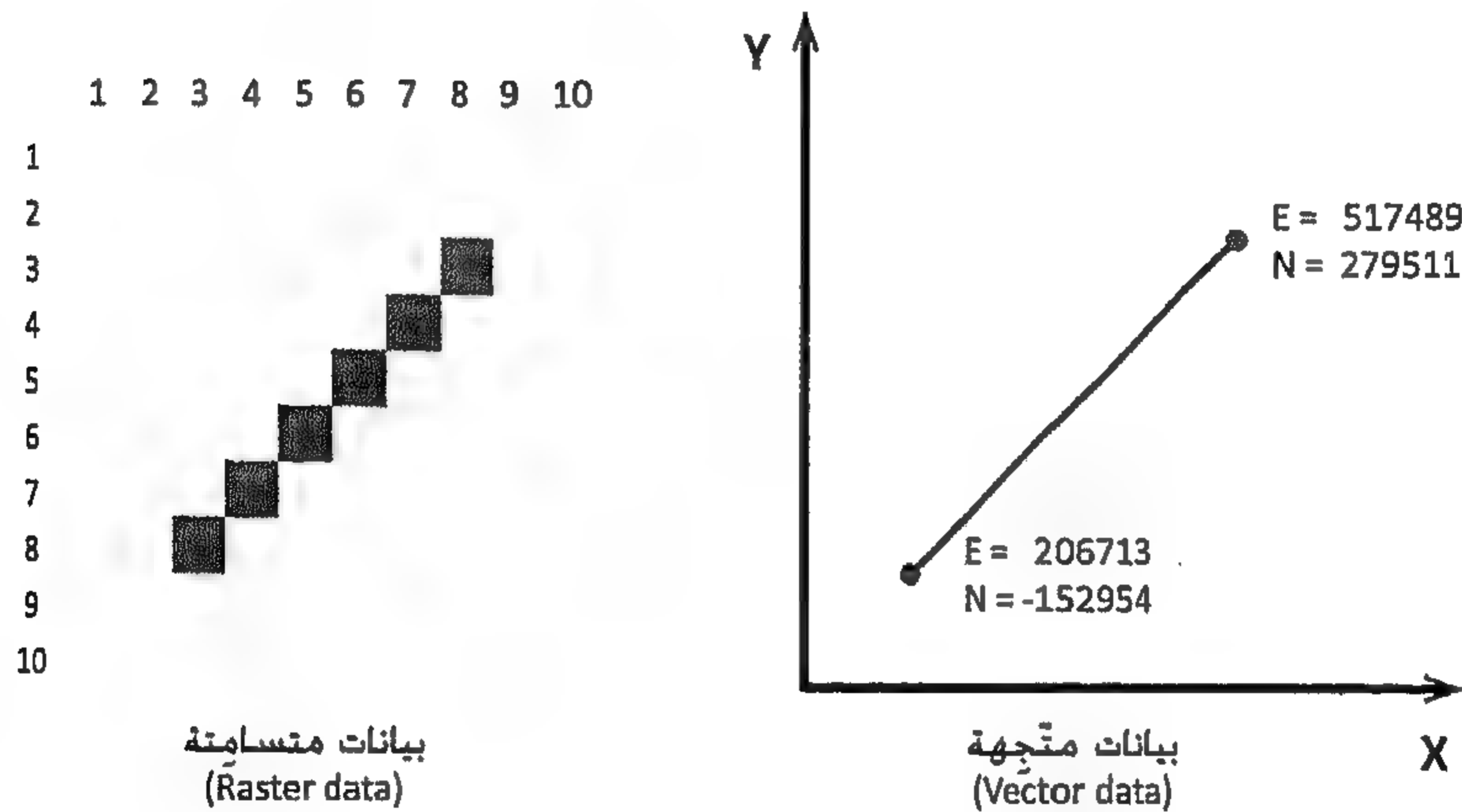
الشكل 1-5 تتألف البيانات المكانية من كائنات وسمات

في التقنيات المكانية تسمى الكائنات معالم (features) وتسمى الخصائص سمات (attributes). تصف الإحداثيات موقع المعلم (موقع المدرسة مثلاً) بينما تصف السمات

خصائص المعلم (اسم المدرسة، عدد الصفوف، عدد الطلاب، الرسوم السنوية، المساحة الكلية، المنهاج الدراسي، الخ). تؤدي الإحداثيات دور الركيزة الأساسية في البيانات المكانية وبدونها لا يصبح للكائنات - وبالتالي السمات - أي معنى جغرافي.

ثمة نوعان رئيسيان من البيانات المكانية؛ هما البيانات المتجهة (vector data) والبيانات المتسامية (raster data).

تتألف البيانات المتجهة من كائنات ذات أشكال هندسية تُمثل بمعادلات رياضية، مثل النقطة والخط والمضلع الخ، وتُخزن قيم الإحداثيات الجغرافية أو الإحداثيات المُسقطية الخ في هذه البيانات، بينما تتألف البيانات المتسامية من مجموعة من الخلايا (cells) أو البكسلات (pixels) وتكون مرتبة في صفوف وأعمدة مثل الصور الجوية وصور الأقمار الاصطناعية والصور الممسوحة (scanned)، ويُعبّر عن إحداثيات الخلايا بطريقة بسيطة هي رقم الصف ورقم العمود.



الشكل 6-1 البيانات المتجهة والبيانات المتسامية

في البيانات المتجهة، تُمثل النقطة بزوج من الإحداثيات، ويُمثل الخط بزوجين من الإحداثيات يمثلان نقطتي البداية والنهاية، وهكذا. وعندما تشاهد خريطة تفصيلية لمنطقة كبيرة فهذا يعني أنها تخفي من ورائها عدداً كبيراً جداً من أزواج الإحداثيات.

المثال التالي يبين مبنى المسافرين في مطار الخرطوم الدولي (بيانات متجهة)، متراكب مع صورة قمر اصطناعي (بيانات متسامية):



الشكل 7-1 مبنى المسافرين في مطار الخرطوم الدولي

يعرض الشكل أعلاه التمثيل الرسومي للمبنى كما يبدو عند عرضه في برامج التقنيات المكانية، ولكن المبنى ما هو إلا كائن مكاني (مضلع) له إحداثيات وسمات كما يبدو عند إلقاء نظرة عليه إحدى الهياكل المستخدمة في حفظ البيانات المكانية مثل GeoJSON (تمثيل الكائنات الجيومكانية في JavaScript):

```
{
  "name": "Khartoum Intl Airport",
  "type": "FeatureCollection",
  "features": [
    {
      "type": "Feature",
      "geometry": {
        "type": "Polygon",
        "coordinates": [
          [
            [32.5496415179087, 15.5964449808243],
            [32.5497881500952, 15.5963037476962],
            [32.5498344233672, 15.5963483171774],
            [32.5499365851364, 15.596249917011],
            [32.5498903118644, 15.5962053475084],
            [32.5500423526151, 15.5960589047888],
            [32.549842836689, 15.5958667347377],
            [32.5499221622983, 15.5957903297273],
            [32.5497683186927, 15.5956421502328],
            [32.5496877911807, 15.5957197129503],
            [32.5496571426499, 15.5956901928149],
            [32.54974067492, 15.5956097359538],
            [32.5495898360723, 15.5954644504633],
            [32.549508106657, 15.5955431709012],
            [32.549168569012, 15.5952161335898],
            [32.5490742196135, 15.5953070094967],
            [32.5490441720341, 15.5952780681292],
            [32.5490591958237, 15.5952635974439],
            [32.5489810721178, 15.5951883498646],
            [32.5487400905327, 15.5954204596171],
            [32.5488164113839, 15.5954939706309],
            [32.5488326370766, 15.5954783423073],
            [32.5488692951231, 15.5955136507404],
            [32.5487755466759, 15.5956039476891],
            [32.5491614053865, 15.5959755999803],
            [32.5490388958828, 15.5960935988279],
            [32.5491007022255, 15.5961531295081],
            [32.5492193035858, 15.5960388949448],
            [32.5493095074369, 15.5961257775761],
            [32.5491909060768, 15.596240012091],
            [32.549325376633, 15.5963695314291],
            [32.5494439779931, 15.5962552969863],
            [32.5494456484348, 15.5962536880498],
            [32.5496415179087, 15.5964449808243]
          ]
        ]
      },
      "properties": {
        "NAME_E": "Khartoum International Airport Terminal",
        "BLDG_ID": 1
      }
    }
  ]
}
```


1.3. الإحداثيات

الإحداثيات (coordinates) مجموعة من الأرقام تستخدم للدلالة على موقع النقطة دلالةً فريدة في النظام المرجعي الذي تُقاس عليه هذه الإحداثيات.

يُعرّف الإحداثي (coordinate) في مواصفات ISO القياسية بأنه "واحد من سلسلة مؤلفة من عدد n من الأرقام يستخدم للدلالة على موقع نقطة في فراغ أبعاده n ". ويجمع هذا التعريف أنواع الإحداثيات المختلفة؛ الإحداثيات أحادية البعد مثل الإحداثيات الرأسية المقيسة على محور وحيد عمودي على متوسط منسوب البحر مثلاً، وثنائية الأبعاد مثل الجغرافية ثنائية الأبعاد (العرض والطول)، وثلاثية الأبعاد مثل الإحداثيات المركبة (العرض والطول والارتفاع فوق متوسط منسوب البحر).



تكتب coordinate في الإنجليزية أيضاً co-ordinate و coördinate. تلفظ هذه الكلمة في الإنجليزية عندما تكون اسماً (إحداثية) بطريقة مختلفة عن لفظها عندما تكون فعلاً (ينسق).

الكلمة	اللفظ
coordinate (إحداثي)	/koo'rdənət/
coordinate (ينسق)	/koo'rdə,neɪt/
رمز IPA	مثال
k	cat, kit
oo	go, hope, know
'	(primary stress)
ɔ	hoarse, glory
d	dot, idea
ə	about
'	(secondary stress)
n	note, ant, pan
ei	play, same
t	ton, stab

الجدول 2-1 لفظ كلمة coordinate حسب المعنى



صيغة المفعول من الفعل قَاسَ هي مَقِيس، وليست مُقَاس.

يُصاغ اسم المفعول من الفعل الثلاثي على وزن مفعول، نحو: سَمِعَ، مَسْمُوعٌ، وقرأَ مَقْرُوءٌ. فإذا كان الفعل أجوف (أي ثانيه حرف عِلَّة) حذفت الواو من مفعول، نحو: صَانٌ يَصُونُ مَصُونٌ (أصله مَصُونُون)، وَ زاد يزيد مَزِيدٌ (أصله مَزِيدُون). ومثل ذلك: قَاسَ يَقِيسُ مَقِيسٌ (أصله مَقِيسُون). هذا في الأعم الأغلب، وبعض الأفعال الجوفاء لها صيغتا مفعول؛ مثل مَدِينٌ وَمَدِينُون، وَمَعِيبٌ وَمَعِيبُون.

1.3.1 لماذا الإحداثيات

يزداد استخدام البيانات المكانية في العديد من التطبيقات، يوماً بعد يوم، كما يتوفر عدد هائل من البيانات المكانية من مصادر مختلفة حول العالم يمكن الوصول إليه بسهولة وبجائناً، ولكن هذه التقنيات المكانية تتطلب وصفاً شاملاً ودقيقاً للمواقع، وبخاصة عندما تُنشأ مجموعات البيانات المكانية من بيانات مختلفة قائمة على أنظمة إحداثيات مرجعية مختلفة.



إذا كانت البيانات المكانية مؤلفة من الإحداثيات، فهذا يعني أنه كلما كانت هذه الإحداثيات صحيحة ودقيقة كانت البيانات المكانية كذلك.

الشكل 1-8 من الإحداثيات إلى اتخاذ القرار

لا يمكن - إذاً - تناول التقنيات المكانية دون الحديث أولاً عن الإحداثيات، لأن التسجيل الدقيق لإحداثيات البيانات المكانية بحيث تمثل مواقعها في العالم الحقيقي - حسب متطلبات الدقة المناسبة للغرض من استخدامها - يسمح بتحليلها بصورة صحيحة للوصول إلى قرارات صحيحة

كذلك، وتكتسب البيانات المستخدمة في التقنيات المكانية قيمتها من معرفتنا أولاً بالنظام المرجعي لإحداثياتها، وثانياً من مستوى الدقة الذي تعبر فيه قيم هذه الإحداثيات عن المواقع على سطح الأرض، وبدون ذلك يمكن أن يقودنا استخدام البيانات المكانية إلى نتائج غير دقيقة أثناء التحليل وعند اتخاذ القرار.

تتسبب الإحداثيات غير الدقيقة في ابتعاد المعالم عن مواقعها الحقيقية ما يمكن أن ينتج منه نتائج غير صحيحة في التخطيط والتحليل، ما يعني اتخاذ قرارات غير صائبة. مثلاً: إن خطأ مقداره ثانية واحدة ($1/3600$ من الدرجة) في قياس زاوية عرض موقع النقطة يتسبب في ابتعادها عن موقعها الأصلي شمالاً أو جنوباً مسافة 31 متراً تقريباً.

البيانات التالية تمثل ما يواجه المستخدم أحياناً من صعوبات في محاذاة البيانات. قد تكون هذه المشكلة ناتجة من الدقة الموقعية المنخفضة لمستقبل GPS الذي جُمعت به بيانات الطرق، أو خطأ في تحويل البيانات بين نظامين مرجعيين للإحداثيات، أو استخدام صورة جوية غير مُسندة جغرافياً (georeferenced) بدقة، أو مسح (scanning) بيانات الطرق من خريطة ورقية قديمة تعاني من تشوّه، الخ.



الشكل 9-1 لا توائم بيانات الطرق صورة القمر الاصطناعي بسبب الاختلاف أو الأخطاء في الإحداثيات

يمكن أن تتفاقم مشكلة الاختلاف أو الأخطاء في قياس إحداثيات البيانات المكانية في هذا المثال فتؤدي إلى مشاكل أخرى منها:

- أخطاء في حساب أطوال شبكة الطرق.
- إنشاء بيانات جديدة في محاذاة بيانات الطرق مثل خطوط الخدمات يجعل هذه البيانات عديمة النفع. ويمكن أن تتضارب خطوط الخدمات مثل الكهرباء والمياه مع بيانات أخرى، فتتم هذه الخطوط ضمن المباني السكنية.



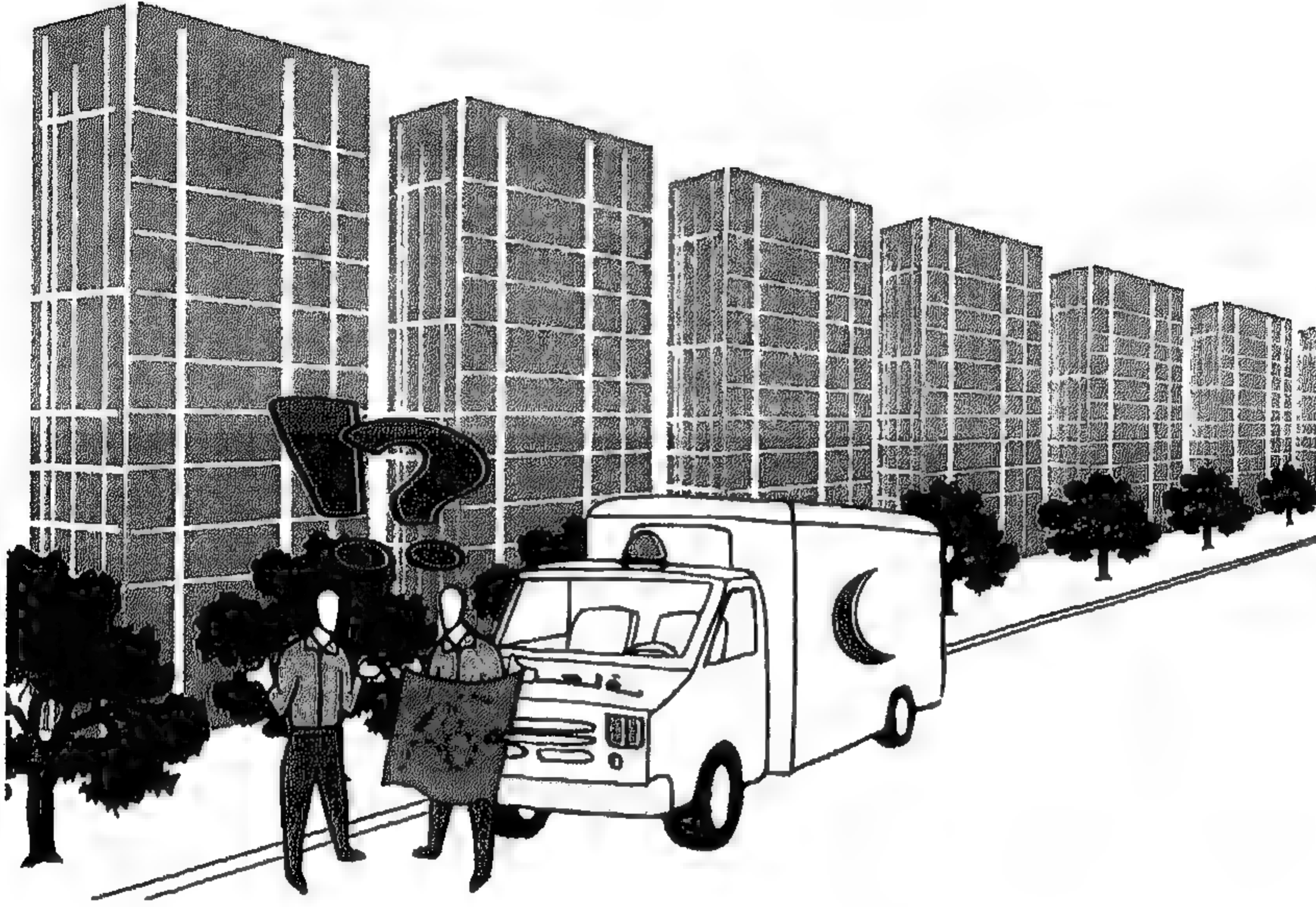
الشكل 10-1 الأخطاء في إحداثيات البيانات المتعلقة بالبنية التحتية يؤدي إلى الإضرار بها

تتنوع الأمثلة عن أهمية الإحداثيات كلما تذكرنا البيانات المكانية التي تتطلبها أعمالنا اليومية. يمكننا مثلاً أن نتذكر شهادات عدم الممانعة (no objection certificates: NOC's) التي تمنح المقاول رخصة تنفيذ أعمال الحفر في موقع ما، ولنا أن نتخيل الضرر الذي تُمنى به البنية التحتية عندما لا تكون إحداثيات البيانات المكانية مثل شبكة الماء والكهرباء والاتصالات مقيسة بدقة.

تشكل الأنظمة المرجعية للإحداثيات جزءاً مهماً من المواصفات القياسية ذات الصلة بنظام المعلومات الجغرافية في المؤسسات، وتؤثر تأثيراً مباشراً في تبادل البيانات المكانية بين الجهات وعلى قابلية التشغيل المتبادل (interoperability) بين الأنظمة والبرمجيات. وعادة تعتمد المؤسسات نظام الإحداثيات المرجعي الذي تقره الجهة المختصة داخل الدولة أو المنطقة الإدارية، مثل هيئة المساحة أو البلدية.



تستخدم التقنيات المكانية أيضاً في أنظمة الطوارئ، مثل الإسعاف، وإذا لم تتوفر في هذه الأنظمة البيانات المكانية الدقيقة والمحدثة لن يتمكن فريق الإسعاف من الوصول إلى منزل المريض في الحالات الطارئة، حين تضيع الدقائق الثمينة الأخيرة في البحث عنه.



الشكل 11-1 استخدام التقنيات المكانية في أنظمة الطوارئ يتطلب بيانات مكانية دقيقة ومحدثة

ما زالت التحديات المتعلقة بالأنظمة المرجعية للإحداثيات وتحويل البيانات المكانية ماثلة، وتشكل هذه التحديات أهمية خاصة في البلاد التي تستخدم أكثر من نظام مرجعي واحد للإحداثيات أو لم تنتقل بعد إلى الأنظمة المرجعية الحديثة. ولذلك يُعدّ موضوع الإحداثيات مهماً لمديري المشروعات وأخصائيي نظام المعلومات الجغرافية في الجهات الحكومية والشركات الخاصة التي تعمل في المشروعات الحكومية.

وفيما يلي بعض مخاطر الأخطاء في الإحداثيات على الأعمال:

- الحفر أو تنفيذ الإنشاءات في مواقع غير صحيحة
- الإضرار بالبنية التحتية والتعدي على ممتلكات الآخرين
- تأخير تنفيذ المشروعات، وزيادة في التكاليف، مع إنفاق الموارد للتحقيق في الأخطاء
- الإضرار بسمعة المؤسسة والدخول في نزاعات قضائية

1.3.2. حقائق عن الإحداثيات

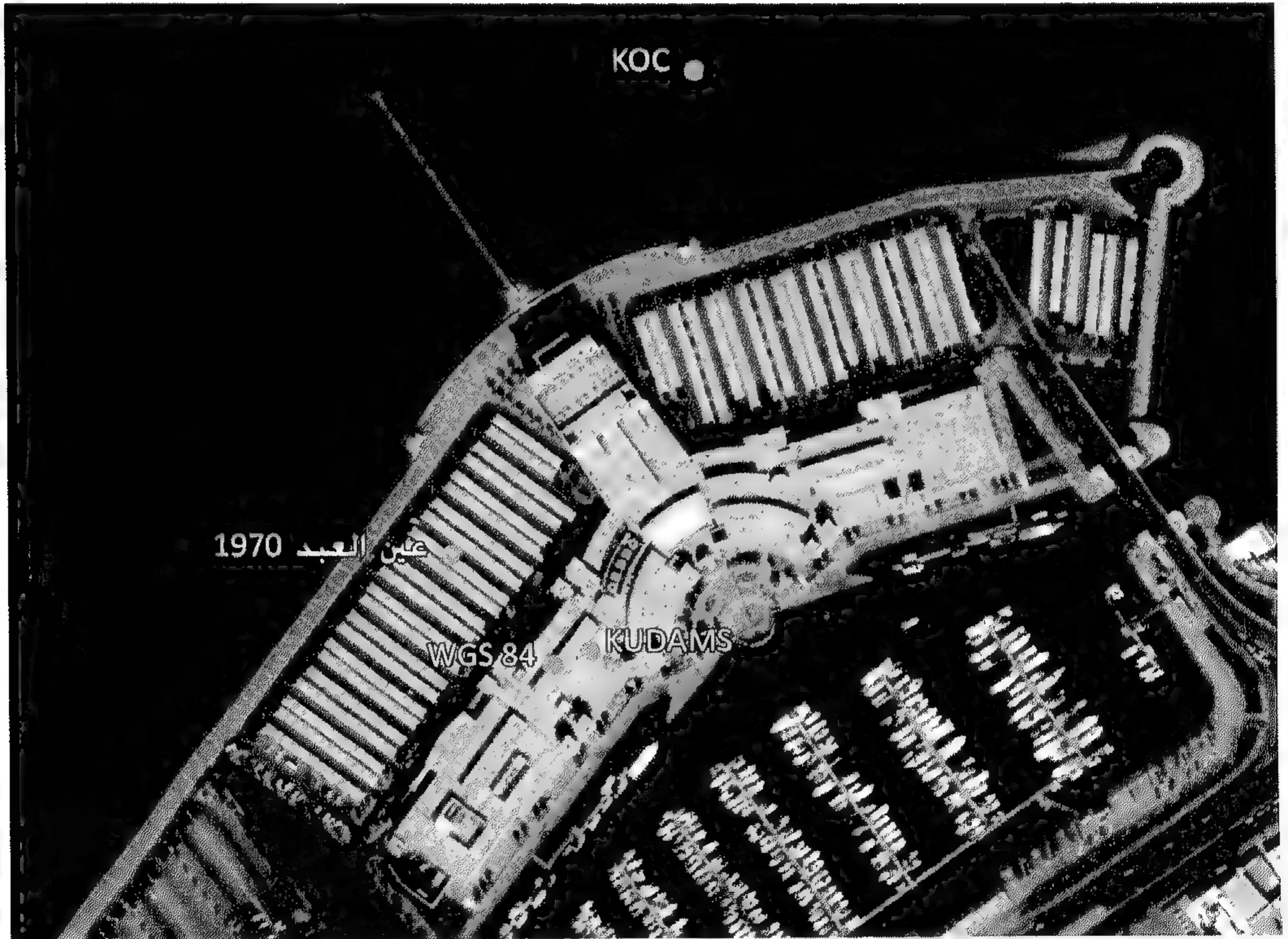
1.3.2.1. ثمة أماكن متباعدة لها الإحداثيات ذاتها

الإحداثيات ليست فريدة، إذ إن إحداثيات نقطة ما تكون حسب نظام الإحداثيات المرجعي التي تُقاس عليه.

المثال التالي يبين منطقة سوق شرق في مدينة الكويت وموقع نقطة إحداثياتها (العرض والطول):

$$\varphi = 29^{\circ}23'20.00"N$$

$$\lambda = 47^{\circ}58'50.00"E$$



الشكل 12-1 أربع نقاط لها العرض والطول ذاته ولكن في أربعة أنظمة مرجعية للإحداثيات

وكما نلاحظ يمكن رسم النقطة في أربعة مواقع مختلفة مستخدمين قيم الإحداثيات ذاتها، إذ تعتمد النتيجة على نظام الإحداثيات المرجعي المستخدم في رسم النقطة، وهي في مثالنا هذا WGS 84 وعين العبد (Ain el Abd) وشركة نفط الكويت (Kuwait Oil Company: KOC) ونظام إدارة

المرافق والخدمات في الكويت (KUDAMS)، ولذلك لا يكفي أن نقول إن النقطة إحداثياتها كذا، بل يجب تحديد النظام المرجعي لهذه الإحداثيات.

يدل هذا المثال على أن استخدام بيانات مكانية ذات إحداثيات منسوبة إلى نظام مرجعي مجهول أو مختلف عن باقي البيانات في الخريطة يتسبب في ظهورها على مسافة بعيدة من موقعها الأصلي قد تصل إلى مئات الأمتار.

ولا يعني اختلاف هذه الأنظمة الأربعة في الكويت وجود أخطاء أو مشكلة، إذ يتوفر في جميع بلدان العالم أكثر من نظام مرجعي واحد، لأسباب منها الاحتياجات العملية التي تتعلق بنوع النشاط الذي تمارسه جهة ما داخل الدولة، ويمكن تحويل البيانات بين هذه الأنظمة بسهولة - نوعاً ما - باستخدام طرق التحويل المخصصة لهذا الغرض.

أما سبب وفرة الأنظمة المرجعية للإحداثيات (ثمة الآلاف من هذه الأنظمة) فيعود لأسباب تاريخية أو علمية نبحثها في الفصول اللاحقة.

1.3.2.2. النقطة الواحدة لها عدة إحداثيات

يمكننا أن نستنتج من المثال السابق أن النقطة الواحدة على الأرض لها عدة إحداثيات في آنٍ معاً، وذلك تبعاً لنظام الإحداثيات المرجعي الذي نقيس موقع هذه النقطة عليه، ويعود السبب في ذلك إلى الاختلاف القائم في تمثيل شكل الأرض بين هذه الأنظمة.

يبين الجدول التالي إحداثيات قمة هرم خفرع (Pyramid of Khafre) في الجيزة في القاهرة في عدد من الأنظمة المرجعية للإحداثيات الجغرافية:

النظام المرجعي للإحداثيات	العرض	الطول
WGS 84	29°58'33.399"N	31°7'50.605"E
Egypt 1907	29°58'32.802"N	31°7'44.585"E
Egypt Gulf of Suez S-650 TL	29°58'32.119"N	31°7'44.189"E

الجدول 3-1 إحداثيات جغرافية مختلفة لقمة هرم خفرع

وكما نلاحظ، فإن قيم الإحداثيات غير متطابقة بين هذه الأنظمة على الرغم من أننا نقيس إحداثيات نقطة واحدة ثابتة على سطح الأرض. علماً بأن النظام الثالث في الجدول، أي النظام المرجعي Egypt Gulf of Suez S-650 TL هو مصمم للاستخدام في خليج السويس فقط، وليس مخصصاً أصلاً لقياس إحداثيات نقاط تقع خارج تلك المنطقة.

.1.3.2.3

وكما أن النقطة الواحدة لها إحدائيات مختلفة حسب النظام المرجعي للإحداثيات الذي تُقاس عليه، كذلك فإن إحدائيات النقطة الواحدة تختلف عبر السنين ولو قيست على ذات النظام المرجعي، ولذلك يتطلب العمل مع الإحداثيات معرفة اللحظة (epoch) التي قيست فيها.

تتحرك كتل القارات ببطء شديد كل سنة، وتتحرك كل صفيحة قارية (tectonic plate) باتجاه مختلف بسرعة قد تصل إلى حوالي 10 سم في العام الواحد.

تتحرك مثلاً الصفيحة الأسترالية بسرعة 67 ملم/سنة بزاوية 35 درجة إلى الشمال الشرقي، وبالتالي تتضمن الإحداثيات المقيسة بنظام تحديد المواقع العالمي لأي موقع في أستراليا عدم تيقن من قيمة الإحداثيات يصل إلى 67 سم، إذا كانت هذه الإحداثيات مقيسة في لحظة غير معروفة خلال عشرة سنوات.

يبين الشكل التالي حركة الصفائح القارية شمال البحر الأبيض المتوسط (NASA, 1998). يبين طول السهم مقدار الحركة خلال سنة واحدة، على مقياس 5 سم في السنة، ويظهر في الشكل تأثير هذه الحركة البطيئة في الإحداثيات.



الشكل 1-13 حركة الصحفات القارية في أوروبا (عن ناسا)

وبالإضافة إلى حركة الصفائح القارية، تستطيع الزلازل تحريك قشرة الأرض في منطقة الزلازل عشرات السنتيمترات.

تقتضي الاتجاهات الحديثة استخدام نظام مرجعي عالمي للإحداثيات - مثل WGS 84 المستخدم في نظام تحديد المواقع العالمي (GPS) - وذلك لتحقيق التوافقية وقابلية التشغيل المتبادل على مستوى العالم. ومن المهم معرفة أن الإحداثيات المحلية تتأثر بحركة الصفائح القارية والزلازل عند استخدام هكذا نظام عالمي، على العكس من النظام المرجعي المحلي للإحداثيات الذي يرتبط بالمنطقة المحلية ارتباطاً وثيقاً ويتحرك معها. ولذلك يجب أن تُلاحظ حركة الصفائح القارية هذه عند تحويل البيانات المقيسة بنظام GPS إلى النظام المرجعي المحلي للإحداثيات.

من ناحية أخرى، يتحرك القطب المغناطيسي الشمالي للكرة الأرضية الذي تتجه إليه إبرة البوصلة بمرور الوقت بسبب التغيرات في نواة الأرض (انظر 4.3 اتجاه الشمال)، وبالتالي تختلف قيمة الانحراف بين الشمال المغناطيسي والشمال الحقيقي ببطء على مر الزمن. يراوح هذا الفرق بين درجتين و25 درجة كل مائة سنة تقريباً وذلك حسب بعد النقطة من القطب المغناطيسي، ولذلك عند تسجيل الاتجاهات المغناطيسية يجب تسجيل تاريخ القياس أيضاً.

1.3.2.4. الارتفاع قيمة نسبية

عندما نقول أن الإحداثيات الرأسية (الارتفاع) لنقطة كذا وكذا فوق سطح البحر، فإن قياس هذه الارتفاع يبدأ في الحقيقة من نقطة ما على شواطئ الدولة تُنتقى لتكون مبدأ أو مرجعاً لقياس الارتفاعات. لكن المسافة الرأسية من قمة جبل مثلاً إلى البحر ليست ثابتة في جميع النقاط على امتداد الشاطئ إذا حتى لو كان البحر ساكناً تماماً، لأن سطح البحر يشبه ثمرة البطاطا التي لا تخلو من نتوءات وتجويف وذلك لاختلاف الجاذبية من نقطة إلى أخرى وإن كنا لا نستطيع ملاحظة ذلك. وإذاً، فإن ارتفاع قمة الجبل قيمة نسبية تحددها النقطة التي يقع الاختيار عليها لتكون - دون غيرها - مرجعاً لقياس الارتفاعات.

يُحسب متوسط منسوب البحر في هذه النقطة المرجعية باستخدام مقياس المد والجزر لمدة 19 عاماً وهي الفترة التي يحتاجها القمر للمرور من ذات النقطة في السماء مرتين، وتسمى الدورة الميتونية (metonic cycle)، بحيث نتأكد أن متوسط هذه القراءات يتضمن أحوال المد والجزر خلال دورة القمر كاملة.

تتأثر أيضاً الإحداثيات الرأسية مثل الارتفاع فوق متوسط منسوب البحر بظاهرة الاحتباس الحراري التي تتسبب في ذوبان الثلوج في القطبين الشمالي والجنوبي، وبالتالي ارتفاع متوسط منسوب البحر.

1.3.2.5. الإحداثيات قيمة مشكوك فيها

الخطأ طبيعة أصيلة في جميع القياسات التي نجريها، ويمكن إثبات ذلك بسهولة بالتجربة والخبرة العملية. لو قام عدة أشخاص بقياس قيمة ما بعناية وباستخدام أحدث الأجهزة فإن نتائج القياس لا تتطابق، وبالتالي فإن القيمة الحقيقية لا يمكن معرفتها، إلا إذا حصل ذلك بالصدفة المحضة من تجربة القياس الأولى. ولذا، فإن نتائج القياسات هي قيمة قريبة من القيمة الحقيقية.

الإحداثيات لا تشذ عن هذه القاعدة، لأسباب ناتجة من الأخطاء الشخصية وأخطاء الأجهزة وأخطاء أخرى، ويمكننا القول أن أفضل ما يتوفر لدينا من معرفة "دقيقة" بإحداثيات المواقع "الحقيقية" على سطح الأرض أو بالقرب منه ليست سوى الإحداثيات التي نأمل أنها حقيقية.

1.3.2.6. الإحداثيات لها دقة موقعية

بعد أن نفرغ من قياس الإحداثيات في منطقة "بدقة" للوصول إلى قيمها "الحقيقية" أي التي نأمل أنها حقيقية، يمكننا استخدام هذه القيم كمرجع لتقييم الدقة المكانية (spatial accuracy) - أو بالأحرى الدقة الموقعية (positional accuracy) كما تسمى في مواصفات ISO القياسية - الأفقية والرأسية لبيانات قديمة أو حديثة لتلك المنطقة بانتقاء نقاط منها ومقارنة إحداثياتها بالإحداثيات "الحقيقية" لذات النقاط، وكلما كانت الفروق صغيرة كانت الدقة الموقعية لهذه البيانات عالية، والعكس بالعكس.

تعرف الدقة الموقعية الأفقية المطلقة بمدى مطابقة الإحداثيات في البيانات المكانية لإحداثياتها الحقيقية التي تقابلها على الأرض. مثلاً؛ إذا كانت الدقة الموقعية الأفقية المطلقة لبيانات الحوادث المرورية 10 أمتار فهذا يعني أن موقع الحادث في البيانات المكانية يقع في مكان ما داخل دائرة نصف قطرها 10 أمتار من الموقع الحقيقي للحدث.

تختلف الدقة الموقعية المطلوبة حسب الهدف من استخدامها، فالدقة الموقعية للبيانات العقارية مثلاً تكون بالسنتيمترات لأنها تتعلق بحقوق يمكن أن ينشأ عنها منازعات قضائية، أما الدقة المطلوبة في جمع بيانات الغطاء الأرضي (land cover) التي تبين توزيع المواد على سطح الأرض من تربة وأعشاب وأشجار ومياه الخ لأغراض الأبحاث البيئية فتكون عدة أمتار.

تتعلق الدقة الموقعية للبيانات بالطريقة المستخدمة في جمعها، فالبيانات الملتقطة بالنظام العالمي للملاحة بالأقمار الاصطناعية وباستخدام طريقة الرصد المتحرك في الوقت الحقيقي (RTK) توفر بيانات بدقة عدة ملليمترات (انظر 1.4.2 النظام العالمي للملاحة بالأقمار الاصطناعية)، بينما يوفر الترقيم (digitizing) بيانات مكانية بدقة منخفضة، يمكن أن تصل إلى 100 متر إذا تمت

عملية التقييم من خريطة بمقياس صغير (انظر 1.4.6 التقييم).

تنشأ الصعوبة في مواءمة (alignment) البيانات المكانية من مصادر مختلفة ودمجها في خريطة واحدة من اختلاف مستويات الدقة الموقعية التي توفرها طرق جمع البيانات المختلفة. ويتطلب العمل مع البيانات معرفة دقتها المكانية الأفقية والرأسية، كما يُعدّ توثيق دقة البيانات المكانية من الممارسات الجيدة في إدارة البيانات المكانية، وبدون ذلك يمكن أن يؤدي استخدام البيانات المكانية إلى نتائج غير متوقعة.



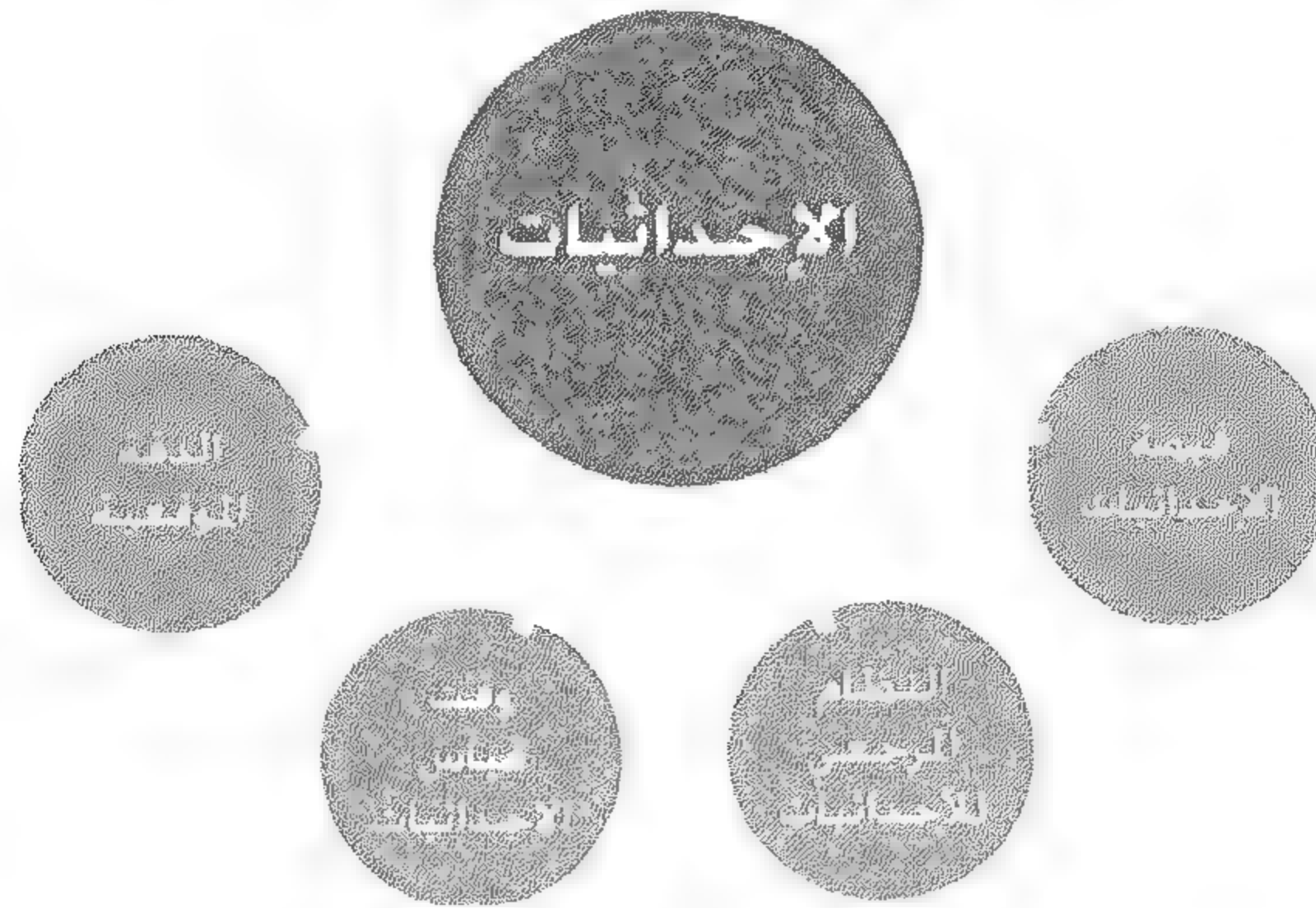
تختلف متطلبات الدقة الموقعية حسب الغرض من استخدامها، ومن المعتاد جمع البيانات المكانية بالدقة التي تتطلبها الأعمال في المؤسسة، إذ يؤدي جمع البيانات بدقة موقعية أعلى من الدقة المطلوبة إلى نفقات إضافية غير مبررة:

- لا يمكن تحديد دقة البيانات المكانية التي تتطلبها المؤسسة إلا من خلال معرفة الغرض من استخدام هذه البيانات.
- عندما تُستخرج البيانات المكانية من بيانات الاستشعار عن بعد مثل الصور الجوية وصور الأقمار الاصطناعية، فإن الدقة المطلوبة في البيانات المكانية المستخرجة تفرض مقياس الصورة المطلوب.
- دقة الخريطة ومقياس الصورة لهما تأثير كبير في تكلفة الحصول على البيانات المكانية.

1.3.3. كيف نعبر عن الإحداثيات

لا يكفي إذاً معرفة قيمة الإحداثيات لتحديد موقع نقطة تحديداً دقيقاً وفريداً، إذ يتطلب استخدام البيانات المكانية معرفة المعلومات التالية:

- قيمة الإحداثيات
- نظام الإحداثيات المرجعي الذي قيست فيه هذه الإحداثيات
- وقت قياس الإحداثيات
- الدقة الموقعية



الشكل 1-14 مكونات الإحداثيات

1.3.4. خداع الخرائط

تنتج الخريطة من إسقاط الإحداثيات الجغرافية من الفضاء ثلاثي الأبعاد (الأرض) على سطح ثنائي الأبعاد (الخريطة) وذلك باستخدام طرق الإسقاط المعروفة. وتعاني جميع الخرائط من تشوّه، بصورة مشابهة لتمزّق قشرة البرتقال إذا ما حاولنا بسطها على سطح مستو.



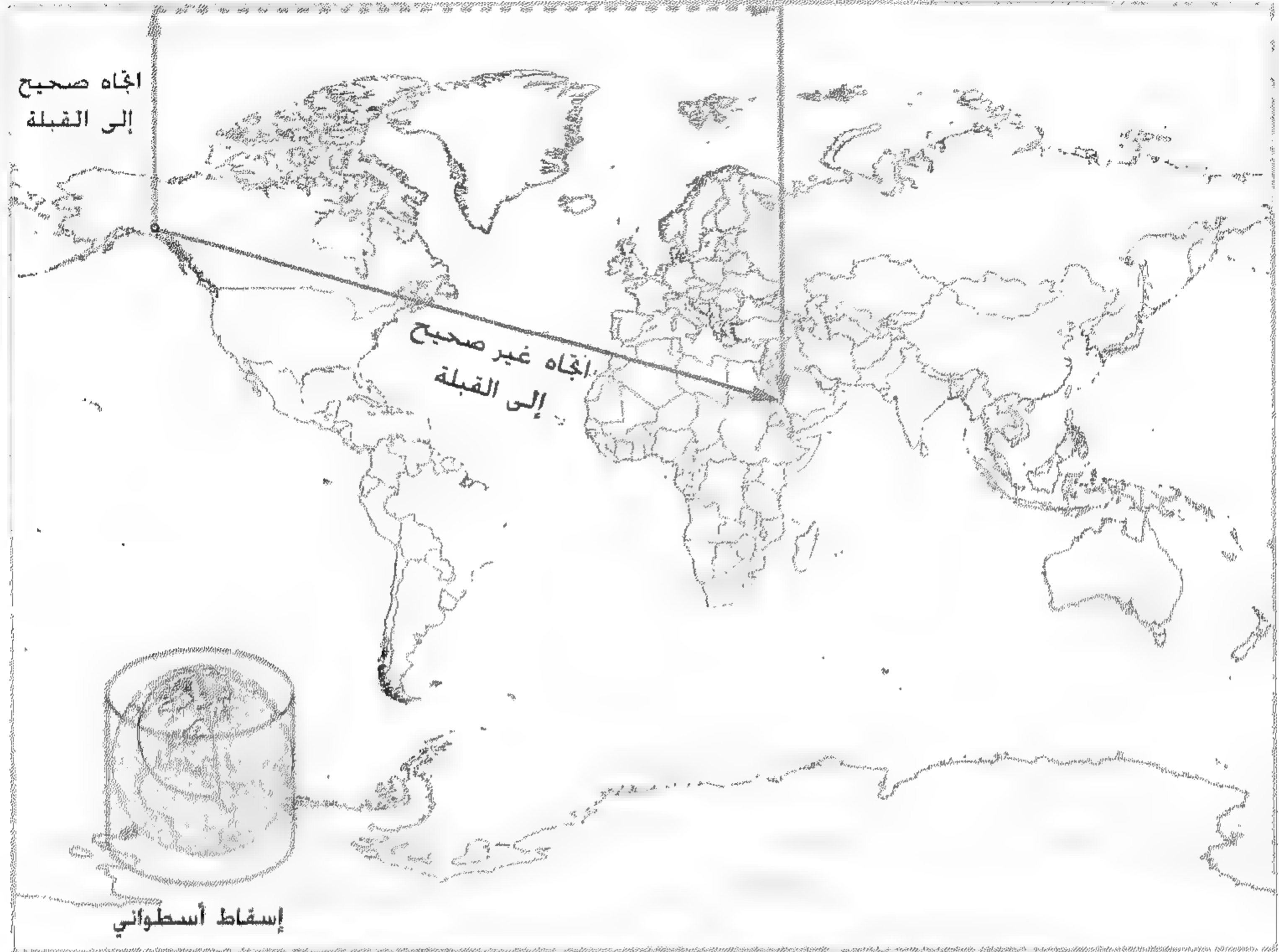
ولهذا السبب ظهرت أنواع عديدة من طرق الإسقاط بغية الحفاظ على بعض خصائص شكل الأرض على حساب الخصائص الأخرى في الخريطة المسطحة؛ المساحة أو المسافة أو الاتجاه. وبما أن الغرض من الخريطة يختلف حسب الاستخدام، علينا أن ننتبه جيداً إلى نوع التشوّه الذي تعاني منه الخريطة التي نستخدمها.

الشكل 1-15 تتسبب طرق الإسقاط بتشوّه السطح

ثلاثي الأبعاد

إذا أردنا قياس المسافات على خريطة فيجب أن يكون إسقاط الخريطة من النوع الذي يحافظ على صحة المسافات، وإذا أردنا قياس المساحات فيجب أن يكون إسقاط الخريطة من النوع الذي يحافظ على صحة المساحات، وإذا أردنا تحديد الاتجاه على الخريطة فيجب أن يكون إسقاط الخريطة من النوع الذي يحافظ على صحة الاتجاه.

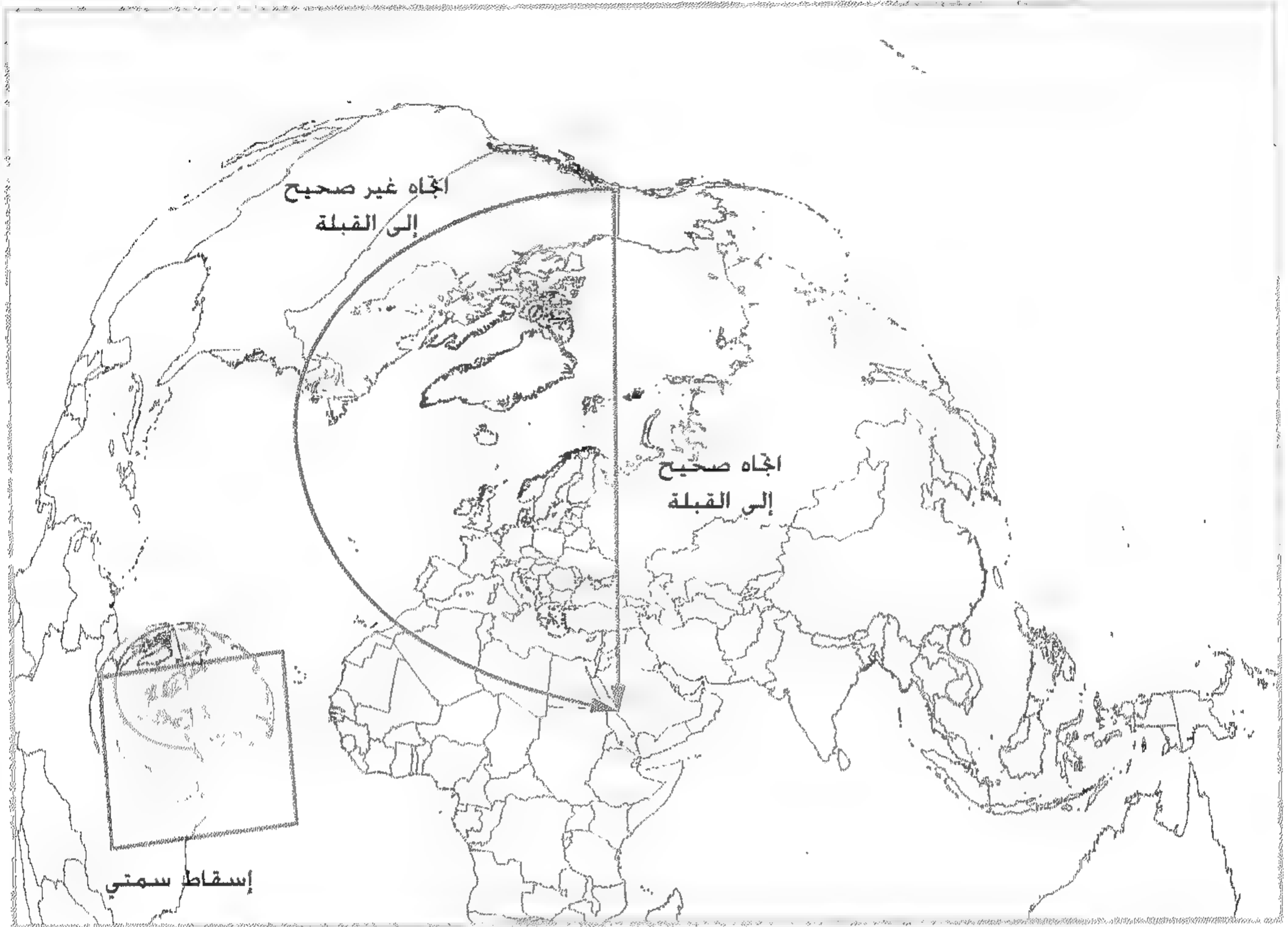
يبين المثال التالي خريطة في إسقاط أسطواناني (cylindrical projection)، وهو إسقاط لا يحافظ على صحة الاتجاه. في الشكل أيضاً اتجاهان إلى القبلة من نقطة على الحدود الكندية مع ولاية ألاسكا، الخط الأحمر يبين اتجاهاً غير صحيح للقبلة، وهو الاتجاه الذي يقفز إلى أذهاننا للوهلة الأولى، بينما يبين الخط الأخضر الاتجاه الصحيح والوحيد إلى القبلة من تلك النقطة:



الشكل 16-1 الاتجاه إلى القبلة من نقطة على الحدود الكندية مع ولاية ألاسكا على إسقاط أسطواناني

الاتجاه غير الصحيح إلى القبلة في الشكل أعلاه ناتج من وصل خط مستقيم (الأحمر) بين تلك النقطة ومكة على الرغم من أن الخريطة لا تحافظ على صحة الاتجاه، كما أن الخط الأحمر هو قوس في الواقع ولكنه يظهر مستقيماً على الخريطة بسبب الإسقاط الأسطواناني. المصلي بهذا الاتجاه يصلي في الحقيقة إلى المحيط الهادئ ولا يصلي إلى مكة. أما الخط الأخضر فهو الخط المستقيم الوحيد والأقصر الذي يصل بين مكة المكرمة وتلك النقطة. يبدو الخط الأخضر وكأنه ثلاث قطع لكنه في الحقيقة قطعة واحدة، والجزء المتقطع منه في الحافة العليا للخريطة غير موجود على الأرض وطوله صفر، لأن كامل الحافة العليا للخريطة ما هي إلا نقطة القطب الشمالي التي تشوهت جداً في الإسقاط الأسطواناني وأصبحت بطول خط الاستواء (انظر 4.5 تحديد اتجاه القبلة).

في المقابل، يحافظ الإسقاط السمتي (azimuthal projection) دون بقية أنواع الإسقاط الأخرى على صحة الاتجاه، وبالتالي يمكن فهم الاتجاه الصحيح إلى القبلة على الخريطة من أي بقعة في العالم إذا كانت الخريطة تعتمد إسقاطاً سمتياً وكانت الكعبة المشرفة في مبدأ الإسقاط.



الشكل 1-17 الاتجاه إلى القبلة من نقطة على الحدود الكندية مع ولاية ألاسكا على إسقاط سمّتي

يبين الشكل أعلاه خريطة تعتمد الإسقاط السمتي، وتقع مكة في مبدأ هذا الإسقاط، ما يعني أنه يمكن تحديد اتجاه القبلة من أي موقع في العالم بمجرد وصل خط مستقيم بينه وبين مكة. الخط الأخضر يبدو على حقيقته؛ خط مستقيم يصل مباشرة بين تلك النقطة على الحدود بين كندا وولاية ألاسكا، وتبين في الشكل أيضاً حقيقة الخط الأحمر الذي لا يعدو أن يكون قوساً لا يصلح لتحديد الاتجاه.

1.4. الحصول على الإحداثيات

تُجمع الإحداثيات عادة في إطار عملية أشمل هي جمع البيانات المكانية، وتتضمن هذه العملية

بالإضافة إلى تسجيل الإحداثيات جمع السمات التي تصف خصائص هذه البيانات. مثلاً، عند جمع بيانات أعمدة الإنارة في الشوارع تُسجل إحداثيات مركز قاعدة كل عمود في صورة عرض وطول (φ, λ) أو شرقيات وشماليات (E, N) وتجمع سمات كل عمود مثل الرقم التسلسلي، تاريخ التركيب، نوع العمود، الخ، وبذلك نحصل على مجموعة البيانات المكانية لأعمدة الإنارة. نبن في الفقرات التالية باختصار بعض الطرق الرئيسية المستخدمة في جمع البيانات المكانية وبالتالي الحصول على الإحداثيات.



تختلف الأساليب المستخدمة في مشروعات جمع البيانات المكانية فيما بينها من حيث الوقت والتكلفة المطلوبة لإنجاز هذه المشروعات من جهة، ومن حيث الدقة المكانية التي يمكن أن توفرها هذه الأساليب، ويجب على مدير المشروع انتقاء الطريقة التي تناسب نوع البيانات المكانية والهدف من جمعها.

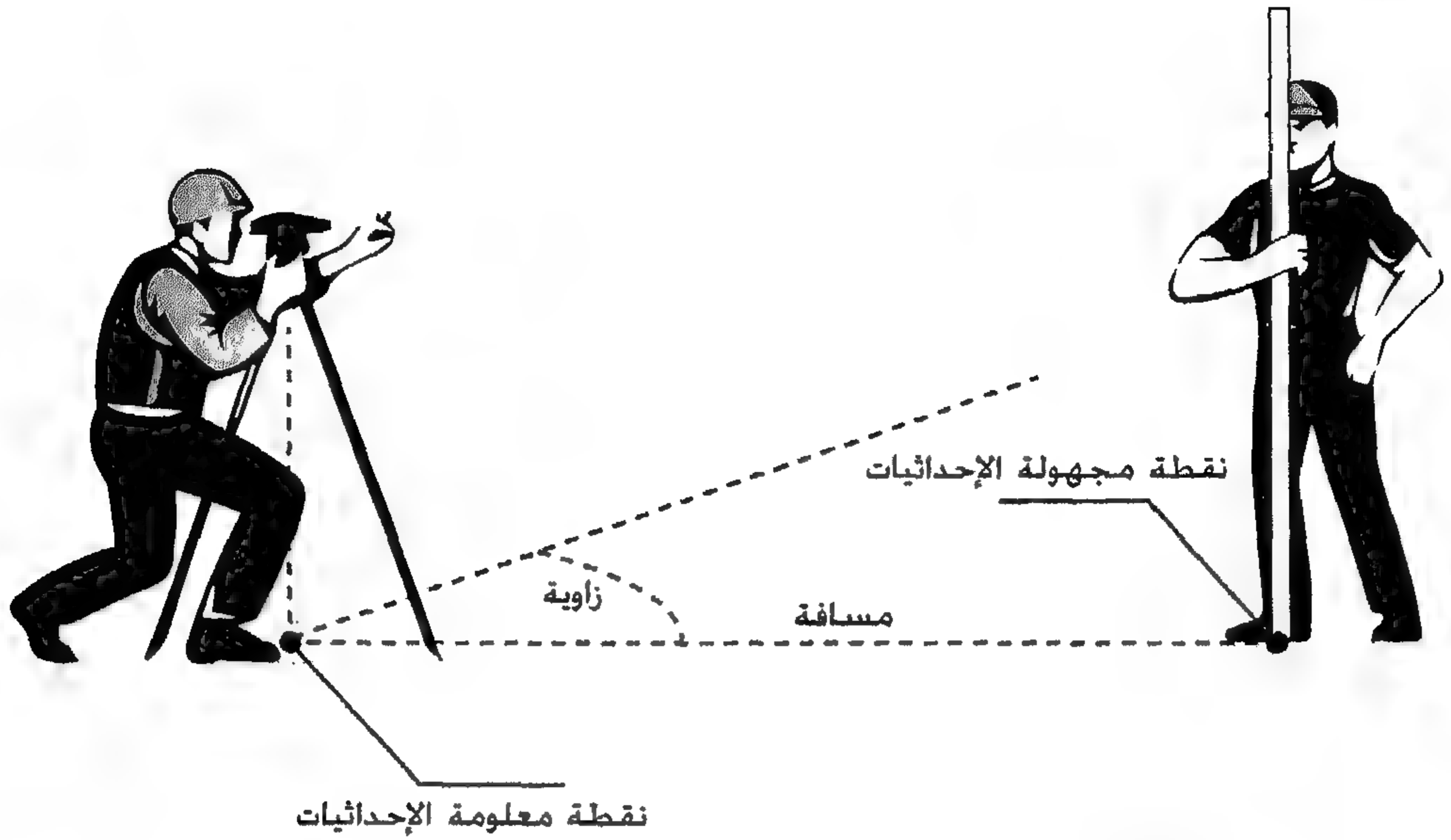
1.4.1. المساحة

تُقاس مواقع النقاط على الأرض بدقة باستخدام التقنيات وأجهزة القياس والأدوات المتوفرة في المساحة (surveying) بفرعيها الرئيسيين؛ المساحة الجيوديسية والمساحة المستوية.

لا تهمل المساحة الجيوديسية (geodetic surveying) انحناء الأرض، ولذلك تُعدّ القياسات المأخوذة بأساليب المساحة الجيوديسية أعلى دقة من المساحة المستوية (plane surveying) التي تتعامل مع مساحات محدودة وتهمل انحناء الأرض فيها، مع العلم أن الأعمال التي تُنفّذ باستخدام أساليب المساحة المستوية - وتمثل الجزء الأكبر من الأعمال المساحية - تعتمد على الشبكة الجيوديسية الوطنية التي تقوم المساحة الجيوديسية بإنشائها (انظر 3.6 الشبكة الجيوديسية الوطنية).

تنقسم المساحة إلى فروع عديدة منها:

- المساحة العقارية أو المساحة التفصيلية (cadastral surveying): تُعنى بقضايا ملكية العقارات، بما في ذلك قياس وترسيم الحدود بين الملكيات.
- المساحة الطبوغرافية (topographic surveying): تهدف إلى جمع البيانات ذات الصلة بمواقع المعالم الطبيعية والاصطناعية، وارتفاع تضاريس سطح الأرض بالنسبة إلى متوسط منسوب البحر.



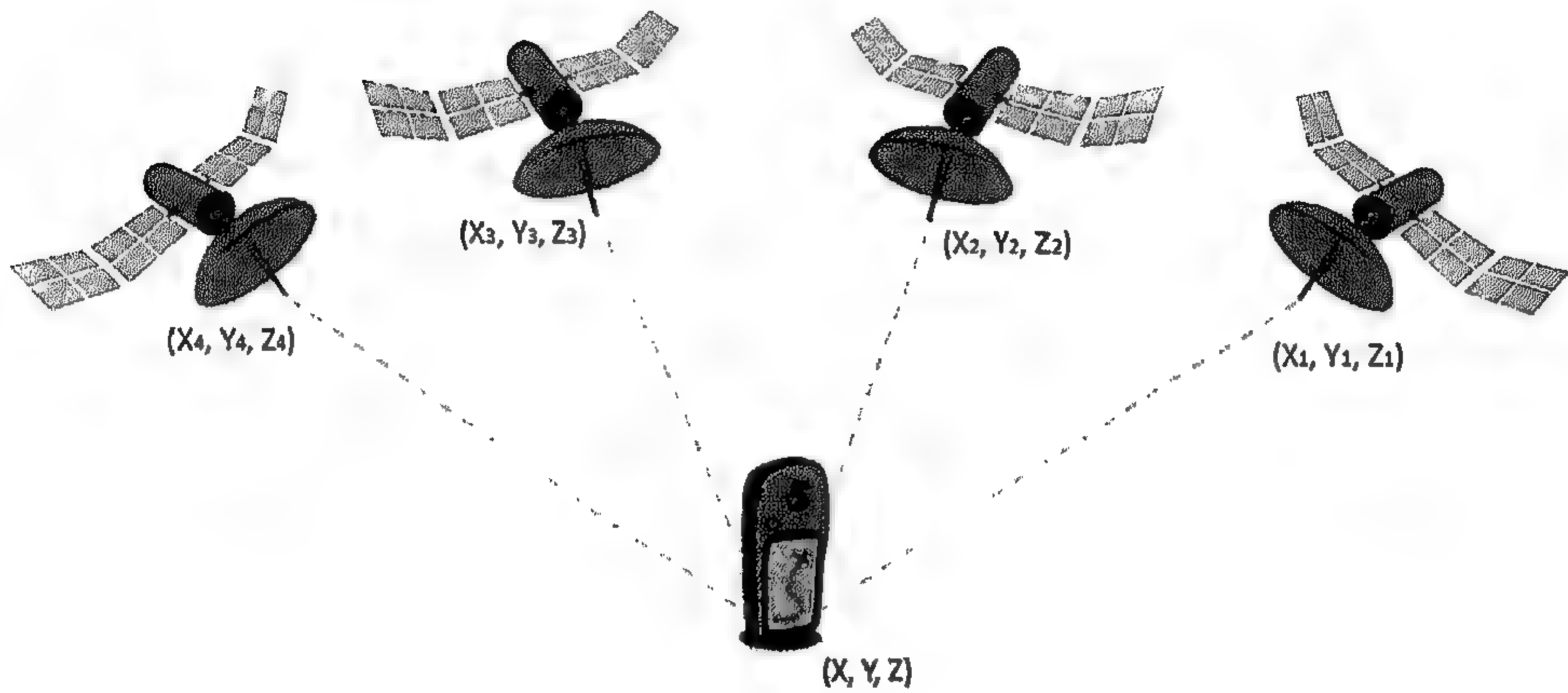
الشكل 1-18 قياس الإحداثيات باستخدام أساليب المساحة المستوية

- المساحة الهندسية (engineering surveying): قياس مواقع النقاط وارتفاعاتها في المشروعات الإنشائية المختلفة، مثل المباني والبنية التحتية مثل الطرق والسكك الحديدية والأنفاق والجسور.
- المساحة المائية أو المساحة البحرية (hydrographic surveying): تُعنى بدراسة التضاريس في أحواض الأنهر وقيعان البحار والمحيطات، بذات الطريقة التي تُعنى فيها المساحة الطبوغرافية بدراسة التضاريس فوق سطح الأرض، وتهتم بقياس ورسم خرائط الشواطئ والسواحل وتحديد أعماق المناطق المائية بهدف توفير ملاحية آمنة وخدمة المشروعات الإنشائية البحرية وعمليات التنقيب عن النفط في البحر.
- المساحة التصويرية (photogrammetry): تستخدم الصور الملتقطة بالكاميرا وأجهزة الاستشعار عن بعد في إجراءات القياسات ورسم الخرائط، وتنقسم بدورها إلى مساحة تصويرية فضائية وجوية وأرضية.

يزداد استخدام النظام العالمي للملاحة بالأقمار الاصطناعية في الأعمال المساحية لما يوفره من سرعة وسهولة في رصد الإحداثيات بالمقارنة مع طرق المساحة التقليدية، مثل إجراء القياسات بفريق عمل صغير في ظروف جوية مختلفة، ودون الحاجة إلى قياس إحداثيات النقاط انطلاقاً من نقاط أخرى.

1.4.2. النظام العالمي للملاحة بالأقمار الاصطناعية

يتألف النظام العالمي للملاحة بالأقمار الاصطناعية (global navigation satellite system: GNSS) من مجموعة من الأقمار الاصطناعية التي تزود المستخدمين بخدمة تحديد الموقع. تقوم المستقبلات الإلكترونية بتحديد موقعها باستقبال الإشارات التي تتضمن معلومات تبثها الأقمار الواقعة في مجال رؤيتها.



الشكل 1-19 قياس إحداثيات النقطة باستقبال الإشارات من النظام العالمي للملاحة بالأقمار الاصطناعية

يُثَقِّن القمر الاصطناعي، وبصورة مستمرة، إشارة تحمل معلوماتين أساسيتين: هما الإحداثيات المدارية والوقت الذي كان فيه القمر لحظة بث الإشارة باعتماد ساعة ذرية بالغة الدقة. تنتشر الإشارة تلو الأخرى بسرعة الضوء ويقوم المُستَقْبِل (receiver) باستلامها، وبمقارنة توقيت بث الإشارة وتوقيت وصولها يمكن للجهاز حساب المسافة بين القمر الاصطناعي وجهاز الاستقبال. وبمعرفة المسافة بين المستقبل وعدد من الأقمار الاصطناعية يمكن حساب إحداثيات موقع المستقبل الأفقية والرأسية بأسلوب التثليث بالأضلاع، لكن الإحداثيات الرأسية المقاسة بالنظام العالمي للملاحة بالأقمار الاصطناعية يجب تحويلها إلى ارتفاعات فوق متوسط منسوب البحر قبل استخدامها.

يمكن استخدام النظام العالمي للملاحة بالأقمار الاصطناعية لجمع البيانات المكانية، كما يستخدم في الملاحة وإرشاد السفن والطائرات وإغاثة المنكوبين الخ. تتوفر حالياً تطبيقات متعددة للنظام العالمي للملاحة بالأقمار الاصطناعية، أشهرها نظام تحديد المواقع العالمي (Global Positioning System: GPS) وهو النسخة الأمريكية وتقوم عليه معظم الاستخدامات المدنية

المعروفة، لكنه ليس الوحيد من نوعه عالمياً، فهناك عدة أنظمة مماثلة مثل النسخة الروسية جلوناس GLONASS، بالإضافة إلى الأنظمة قيد التطوير والبحث مثل النسخة الأوروبية جاليليو Galileo، والنسخة الصينية كومباس Compass، بالإضافة إلى بعض النسخ المحلية التي تغطي منطقة جغرافية محدودة في الصين والهند واليابان.

يوفر النظام العالمي للملاحة بالأقمار الاصطناعية دقة موقعية تختلف باختلاف جهاز الاستقبال، وتراوح الدقة الموقعية الأفقية عند استخدام أجهزة الاستقبال العادية المحمولة باليد ومنخفضة الدقة بين 5 أمتار و 15 متراً، ونظراً لأهمية هذا النظام العالمي تتوفر مجموعة من التقنيات لتحسين الدقة الموقعية للإحداثيات المقيسة بهذا النظام، منها ما هو تقليدي مثل أخذ عدة قياسات للنقطة على فترات متباعدة وحساب متوسط القراءات، ومنها ما يعتمد على تجهيزات أو أنظمة متخصصة مثل:

- **نظام تحديد المواقع العالمي التفاضلي (Differential Global Positioning System: DGPS):** توفر التقنية التفاضلية دقة موقعية تصل إلى أجزاء المتر، وتستخدم لتحسين دقة نظام تحديد المواقع العالمي محطات مرجعية أرضية معلومة الإحداثيات. تعتمد فكرة هذه التقنية على أن الخطأ في قياس الإحداثيات بنظام GPS متساو عند جميع النقاط في منطقة واحدة. تقيس المحطات المرجعية باستمرار قيمة الفرق بين إحداثياتها الحقيقية وبين إحداثياتها طبقاً لنظام تحديد المواقع العالمي وتبث الفرق بينهما فتستقبل المستقبلات هذه الإشارة وتقوم بإدخال التصحيح المطلوب على قياساتها في الوقت الحقيقي أو بمعالجة البيانات لاحقاً (post processing).
- **الرصد المتحرك في الوقت الحقيقي (Real Time Kinematic: RTK):** بالإضافة إلى التقنية التفاضلية، تعتمد هذه التقنية على قياسات طور الإشارة الحاملة (carrier phase) أي خصائص الإشارة الواردة من القمر الاصطناعي وليس المعلومات المتضمنة في الإشارة فقط، وتستخدم في الأعمال المساحية وتوفر دقة موقعية تصل إلى عدة ملليمترات.
- **نظام تحديد المواقع العالمي المعزز (Assisted GPS: A-GPS or aGPS):** تساعد هذه التقنية مستقبلات نظام تحديد المواقع العالمي في الهواتف الذكية على العثور على الأقمار الاصطناعية بسرعة من خلال معلومات تُبث عبر شبكة الهاتف بدلاً من انتظار إشارة الأقمار الاصطناعية التي يحتاج المستقبل إلى وقت طويل للوصول إليها وبخاصة عندما تكون الإشارة ضعيفة. في بعض الحالات يقوم نظام تحديد المواقع المعزز باستلام البيانات التي يستقبلها الهاتف الذكي ويعالجها لتحديد موقع الهاتف بالنيابة عنه.

BOCTOK

شرق

東

SE

من الأخطاء الشائعة استخدام عبارة نظام تحديد المواقع العالمي بدلاً من النظام العالمي للملاحة بالأقمار الاصطناعية، ويشبه الأمر إطلاق كلمة "تايد" على كل مسحوق غسيل. إذا كنا نتحدث عن التقنية فلا بد من استخدام عبارة النظام العالمي للملاحة بالأقمار الاصطناعية، أما إذا كنا نتحدث عن نظام بعينه، فيمكن حينئذ أن نستخدم GPS أو GLONASS الخ. العبارة التالية صحيحة: "الهواتف الذكية تدعم النظام العالمي للملاحة بالأقمار الاصطناعية".

1.4.3. نظام تحديد المواقع المحلي

نظام تحديد المواقع المحلي (local positioning system: LPS) هو نظام لتحديد الموقع في نطاق تغطية محدود، على عكس النظام العالمي للملاحة بالأقمار الاصطناعية. يستخدم نظام تحديد المواقع المحلي أسلوب التثليث بالقطع الزائد (multilateration or hyperbolic positioning)؛ أي تحديد موقع النقطة بقياس قوة الإشارة فيها من عدة محطات بث معلومة الإحداثيات، حيث تضعف الإشارة من محطة البث كلما ابتعدنا عنها وبالتالي فإن النسبة بين المسافات من النقطة إلى عدة محطات تساوي النسبة إلى قوة إشارة هذه المحطات في تلك النقطة.



الشكل 1-20 تحديد موقع الهاتف بالاعتماد على قوة الإشارة المستقبلية من أبراج الهواتف الخلوية

تكون محطات الإرشاد (beacons) في نظام تحديد المواقع المحلي محدودة المدى وتتطلب بالتالي أن يكون مستخدم النظام بالقرب منها، مثل أبراج الهواتف الخلوية، ويسمى نظام تحديد المواقع المعتمد على الشبكة (network based positioning)، أو نقاط وصول إنترنت اللاسلكية (Wi-Fi) ويسمى نظام تحديد المواقع المعتمد على نقاط وصول إنترنت لاسلكية (Wi-Fi-based positioning)، وأبراج البث الإذاعي.

تأتي أهمية نظام تحديد المواقع المحلي من حيث استخدامه مكملاً للنظام العالمي للملاحة بالأقمار الاصطناعية، وبخاصة في المناطق التي تصل الإشارة إليها ضعيفة، وفي نظام تحديد المواقع داخل المباني (indoor positioning system: IPS) حيث لا تصل الإشارة، كما يستخدم النظام المحلي لتحديد موقع الهواتف المحمولة التي لا تدعم النظام العالمي.

1.4.4. الاستشعار عن بعد

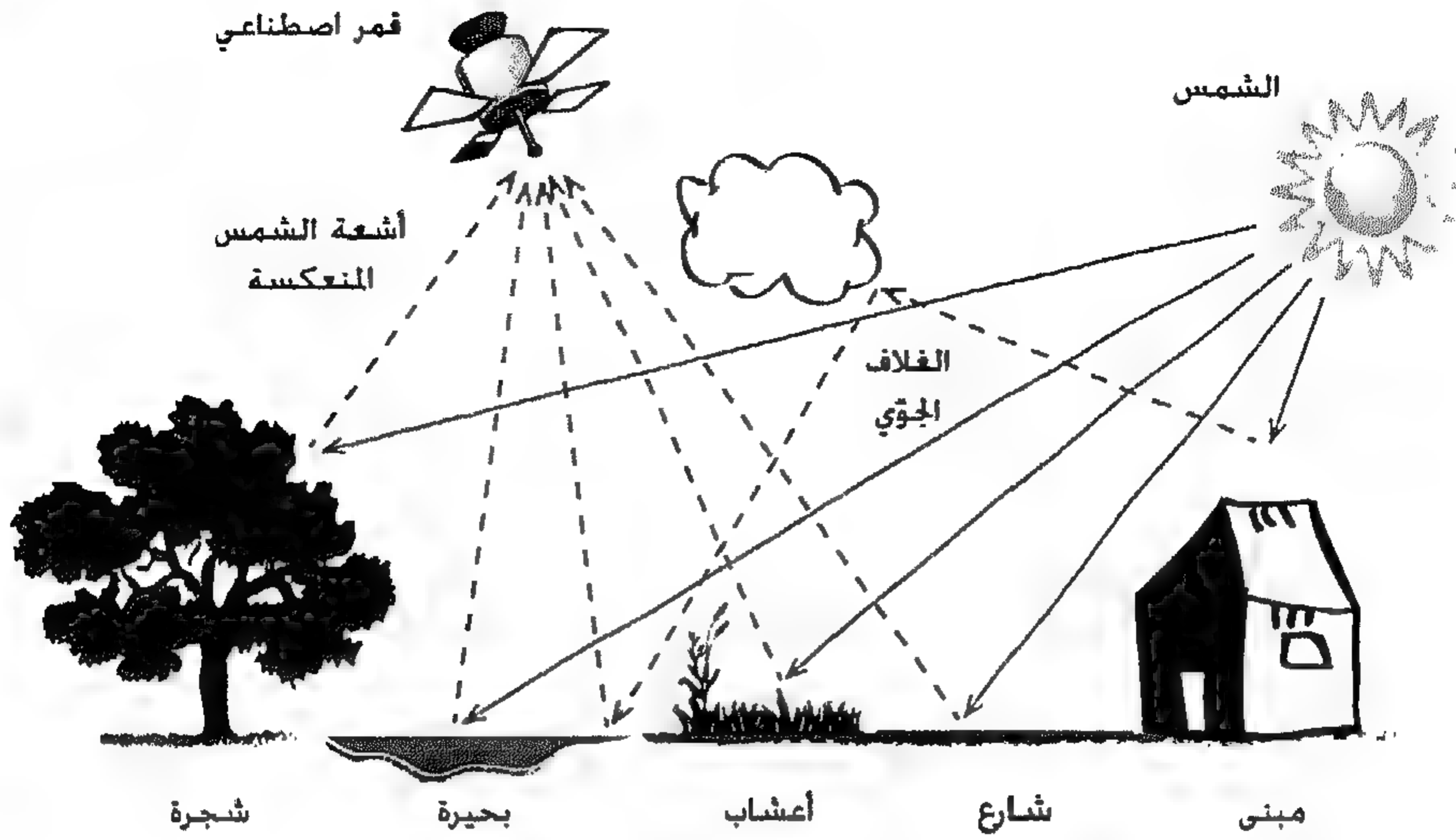
الاستشعار عن بعد هو "قياس أو اكتساب معلومات عن بعض خصائص كائن أو ظاهرة بجهاز تسجيل ليس على اتصال مادي أو حميم مع الكائن أو الظاهرة قيد الدراسة" (ASPRS, 1983).

يعتمد الاستشعار عن بعد اعتماداً كاملاً على تفاعل الأشعة الكهرومغناطيسية المنعكسة أو المنبعثة من الأجسام المستهدفة. وتعكس هذه الأجسام أو تبعث الطاقة الكهرومغناطيسية بصور مختلفة اعتماداً على خصائصها الفيزيائية والكيميائية والحيوية، بحيث يكون لكل منها توقيعاً طيفياً فريداً، ويشكل هذا المبدأ الأساس للاستشعار عن بعد.

يستخدم الاستشعار عن بعد في:

- تنفيذ قياسات سريعة ودقيقة للمسافات والمساحات والارتفاعات.
- المراقبة الشاملة للتوزيع المكاني للظواهر على الأرض في مناطق شاسعة.
- دراسة الظواهر المتغيرة، والتسجيل الدائم للظواهر بحيث يمكن دراستها فيما بعد.
- تسجيل بيانات لا تستطيع العين رؤيتها، تقع خارج نطاق الأشعة المرئية.

ثمة نوعان رئيسيان من الاستشعار عن بعد؛ الاستشعار السلبي عن بعد (passive remote sensing) ويعتمد على تحسس الإشعاع الطبيعي المنبعث أو المنعكس عن الكائن أو المناطق المحيطة به، ويُعدّ ضوء الشمس المنعكس من أهم مصادر الإشعاع التي تقوم أجهزة الاستشعار السلبي بقياسها، ومنها كاميرات التصوير، أجهزة الأشعة تحت الحمراء، والأجهزة مزدوجة الشحنة (charge-coupled devices: CCD's)، ومقاييس الإشعاع (radiometers).



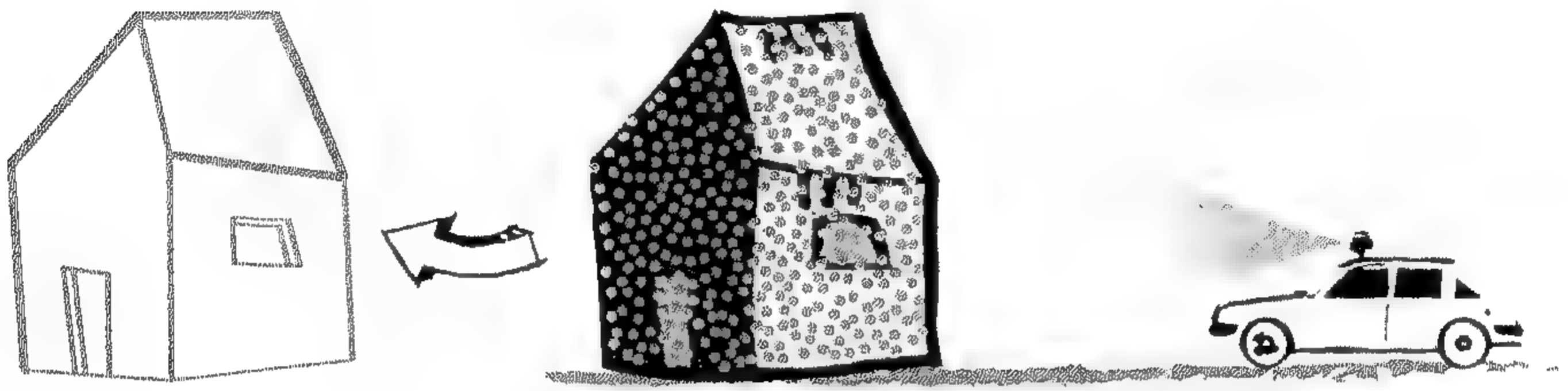
الشكل 21-1 مبدأ عمل الاستشعار السلبي عن بعد

أما النوع الثاني من الاستشعار عن بعد فهو الاستشعار النشط عن بعد (active remote sensing)، حيث تقوم أجهزة الاستشعار النشط بإطلاق الطاقة ومن ثم قياس الإشعاع الذي ينعكس عن الهدف. ومن هذه التقنيات الرادار (radio detection and ranging: RADAR) أي الكشف والسير بالراديو، والليدار (light detection and ranging: LIDAR) أي الكشف والسير بالضوء، ويسمى أيضاً اللادار (laser detection and ranging: LADAR) أي الكشف والسير بالليزر. يُقاس التأخير الزمني في تقنيتي الرادار والليدار بين إطلاق الإشعاع وعودته لحساب موقع وسرعة واتجاه الكائن.

تُحمل أجهزة الاستشعار عن بعد على قمر اصطناعي أو طائرة أو طائرة بدون طيار (unmanned aerial vehicle: UAV) أو منطاد، أو تكون على الأرض مثبتة في منطقة الدراسة، أو متحركة مع مركبة تسير على الأرض، الخ، كما تختلف البيانات الناتجة من الاستشعار عن بعد حسب التقنية المستخدمة في جمع البيانات.

عند استخدام كاميرات التصوير المحمولة على طائرة، مثلاً، تكون البيانات الناتجة من الاستشعار عن بعد صوراً جوية (aerial photos)، وتضطلع المساحة التصويرية (photogrammetry) بمهمة إدخال مجموعة من التصحيحات المطلوبة على هذه الصور وربط الإحداثيات عليها بما يقابلها من إحداثيات على الأرض في النظام المرجعي المعتمد، وعندما تكون الصورة صورة

مصححة عمودياً (orthophoto) يمكن قياس أو استخراج البيانات المكانية من الصورة مباشرة. أما عند استخدام تقنية الليدار تكون البيانات الناتجة من الاستشعار عن بعد نموذج سطح رقمياً (digital surface model: DSM) أو سحابة نقطية (point cloud)، وتُستخرج البيانات المكانية من السحابة النقطية بتقنيات تسمى إعادة إنشاء السطح (surface reconstruction) وتتضمن استخدام المرشحات (filters) والخوارزميات (algorithms) للتعرف على الحواف وإنشاء نماذج ثلاثية الأبعاد للكائنات انطلاقاً من ملايين النقاط ثلاثية الأبعاد.

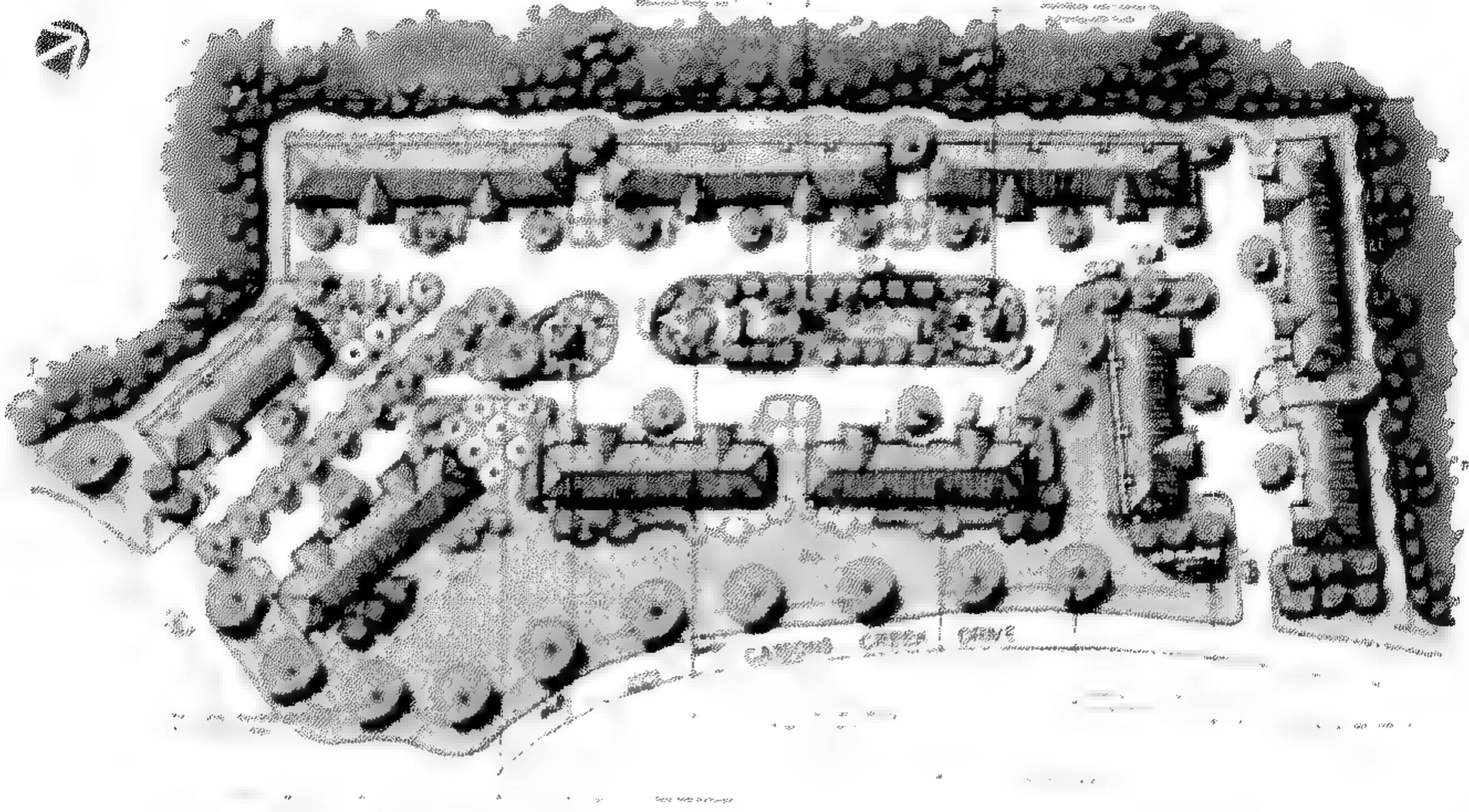


الشكل 1-22 تستخدم تقنية الليدار الأرضية في جمع البيانات المكانية بسرعة وفي دقة عالية

1.4.5. برامج التصميم بالحاسوب (CAD)

تُستخدم برامج التصميم بالحاسوب (computer aided design: CAD) بصورة رئيسية في تصميم مشروعات التخطيط العمراني والبناء والبنية التحتية. تمر هذه البيانات بمرحلتين: رسوم التصميم النهائي (final design drawings) وهي البيانات التي تتوفر بعد الانتهاء من عملية التصميم والحصول على موافقة مالك المشروع للبدء بتنفيذه، أما المرحلة الثانية فهي الرسوم طبق التنفيذ (as-built drawings) وتكون بعد الانتهاء من تنفيذ المشروع وإدخال ما يلزم من تعديلات على رسوم التصميم النهائي بحيث تعكس التغييرات التي حصلت في الموقع لأسباب مختلفة.

وتُعدّ البيانات الناتجة من عملية تصميم المشروعات وتنفيذها باستخدام برمجيات التصميم بالحاسوب من المصادر المهمة للحصول على البيانات المكانية، وبالتالي الإحداثيات، وإن كان ذلك لا يُعد من طرق قياس الإحداثيات كما في المساحة والنظام العالمي للملاحة بالأقمار الاصطناعية. إذ تقوم برامج التصميم بالإحداثيات بإنشاء البيانات المكانية لمعالم تُخطط إلى إيجادها وبنيتها لاحقاً على سطح الأرض، بينما تقوم الطرق الأخرى بقياس الإحداثيات لمعالم قائمة بالفعل.



الشكل 1-23 أنظمة التصميم بالحاسوب (CAD) هي إحدى أهم مصادر البيانات المكانية (الموقع العام عن Overlook at Caison's Creek)

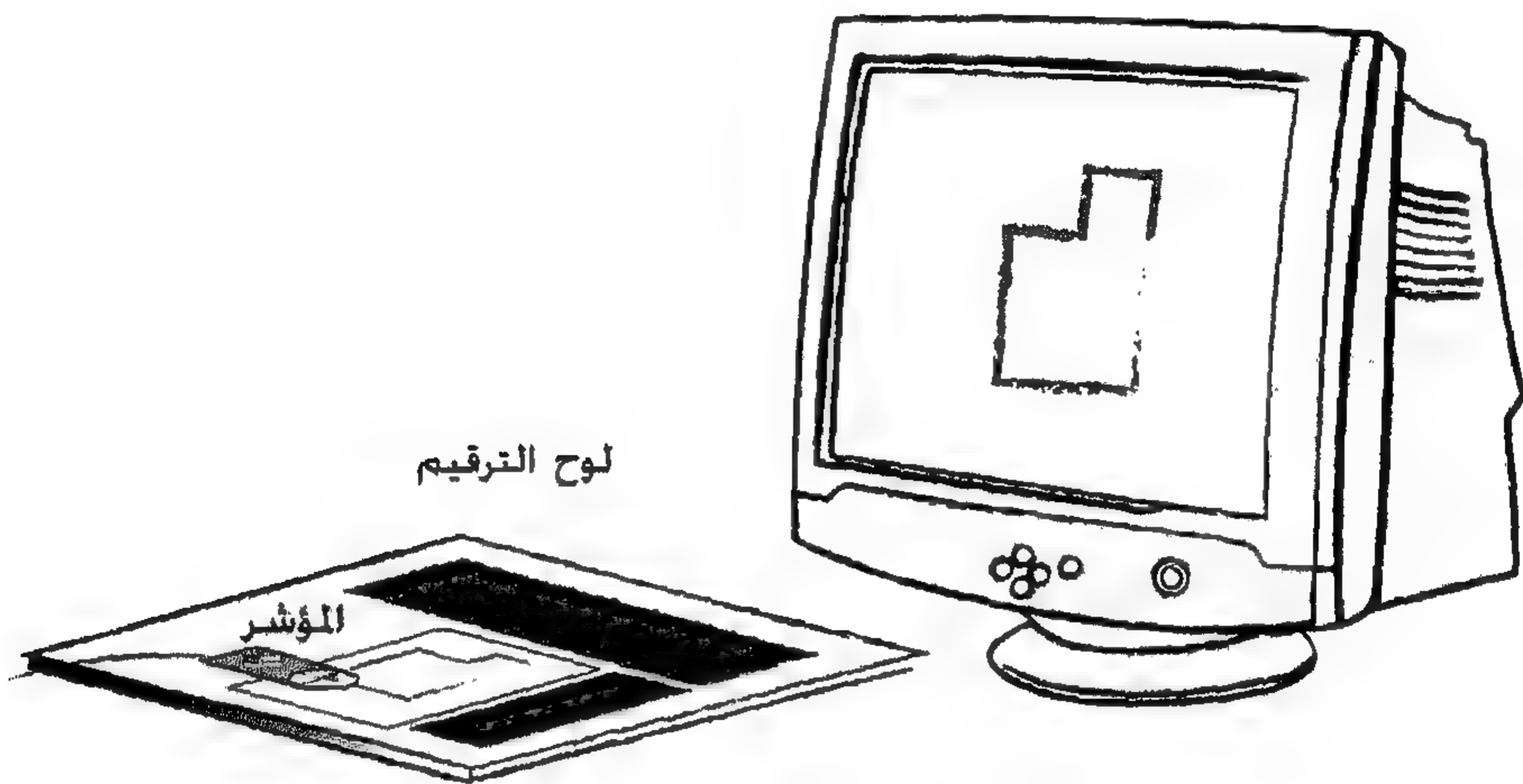


تستخدم أنظمة التصميم بالحاسوب في الشركات الاستشارية نظاماً مرجعياً هندسياً للإحداثيات، إذ يبدأ الرسّام عادة بإنشاء المخطط من أي نقطة على شاشة البرنامج، ويمكن قبول ذلك إذا كانت هذه المخططات والرسوم ستستخدم بصورة منفصلة أو معدة للاستخدام الداخلي. لكن أفضل الممارسات تقضي بأن تشرف البلديات وقطاع البنية التحتية والخدمات على وضع مواصفات قياسية لرسوم التصميم بالحاسوب لتسهيل تبادل البيانات وإدراجها في موقعها الصحيح في قاعدة البيانات المكانية. ومن هذه الممارسات منح الشركة الاستشارية قيم إحداثيات منطقة الدراسة بحيث يبدأ الرسّام عملية التصميم داخل حدودها، بالإضافة إلى مواصفات قياسية أخرى تتعلق بأسماء الطبقات والرموز المستخدمة وذلك لأتمتة استيراد هذه المخططات والرسوم إلى قاعدة البيانات المكانية في البلدية بصورة تلقائية.

وعادة ما تقوم البلديات والجهات الأخرى العاملة في قطاع البنية التحتية والخدمات مثل المواصلات والكهرباء والمياه والصرف الصحي والاتصالات بتحديث قاعدة بياناتها المكانية بالاعتماد على البيانات المكانية الناتجة من هذه المشروعات. بالإضافة إلى ذلك تُعدّ بيانات التصميم بالحاسوب من المصادر المهمة في صيانة وتحديث نموذج المدينة ثلاثي الأبعاد (3D city model).

1.4.6. الترقيم

يمكن إنشاء البيانات المكانية الرقمية من خريطة أخرى مطبوعة بتعقب المعالم باستخدام المُرَقَّم (digitizer) الذي يسمى أيضاً لوح الترقيم (digitizing tablet)، ويكون ذلك بتثبيت الصورة الجوية أو الخريطة المطبوعة أو المرسومة فوق لوح الترقيم واستخدام المؤشِّر (puck) الموصول به فيتحسس لوح الترقيم حركة المؤشِّر أثناء تعقب المعالم ويقوم بإنشائها في برمجيات التصميم بالحاسوب أو نظام المعلومات الجغرافية، وبالتالي الحصول على نسخة رقمية منها.



الشكل 1-24 استخدام المُرَقَّم في إنشاء نسخة رقمية من خريطة مطبوعة

وقبل البدء بإنشاء البيانات المكانية يجب معايرة (calibration) المُرَقَّم بتعريف الإحداثيات الصحيحة لنقاط معلومة الإحداثيات في الخريطة أو الصورة الجوية المطبوعة وذلك لاستنتاج إحداثيات النقاط الأخرى الواقعة بين تلك النقاط معلومة الإحداثيات، حيث تعتمد معايرة المُرَقَّم بصورة أساسية على طرق التحويل (انظر 5.3 عمليات أخرى على الإحداثيات).

عندما يقوم المستخدم بتعقب البيانات المكانية يدوياً فوق خرائط رقمية معروضة ضمن شاشة برنامج التصميم بالحاسوب أو نظام المعلومات الجغرافية يسمى هذا النوع من الترقيم الترقيم القائم (heads-up digitizing) لأن المستخدم لا يضطر أثناء ذلك إلى النظر إلى الأسفل باتجاه لوح الترقيم لالتقاط النقاط، ويتميز الترقيم القائم بإمكانية التقريب/التباعد (zoom) بحيث يحدد المستخدم النقاط بدقة عالية من الخريطة المعروضة على الشاشة.

ومع أن البيانات الحديثة تُنجز بتقنيات أحدث من عملية التقييم، إلا أن حجماً كبيراً من مهام إنشاء البيانات المكانية في تاريخ برمجيات التصميم بالحاسوب ونظام المعلومات الجغرافية قد أُنجز بتقييم البيانات يدوياً.

1.5. الإسناد المكاني باستخدام المعارف الجغرافية

بصورة عامة، يمكن تنفيذ الإسناد المكاني (spatial referencing) للمعالم أي تعريف موقعها الجغرافي بطريقتين:

- باستخدام الإحداثيات (وهو موضوع هذا الكتاب): يُعرّف الموقع باستخدام قيم الإحداثيات، مثل خط العرض وخط الطول. يقع برج إيفل (Eiffel Tower) مثلاً في نقطة إحداثياتها:

$$\varphi = 48.8583^{\circ}N$$

$$\lambda = 2.2945^{\circ}E$$

- باستخدام المعارف الجغرافية (geographic identifiers): يُعرّف الموقع باستخدام نص يصف هذا الموقع مثل العنوان. ويمكن بذلك إسناد برج إيفل مكانياً بقولنا أنه يقع في "أقصى الشمال الغربي لحديقة شان دي مارس (Champ de Mars) في باريس في فرنسا".

ومع أن الإسناد المكاني باستخدام المعارف الجغرافية لا يقع ضمن موضوع هذا الكتاب، إلا أنه من الضروري تقديم معلومات عامة عن هذا النوع من الإسناد المكاني وذلك لتعريف القارئ بكيفية استنتاج الإحداثيات من معلومات نصية، قد تبدو للوهلة الأولى، معلومات غير مكانية.

وعموماً تستخدم العلاقات التالية في الإسناد بالمعارف الجغرافية:

- علاقة احتواء: تقع القاهرة في مصر.
- قياسات محلية: يقع مركز التسوق على الجهة اليمنى من شارع السلام على بعد 5 كلم من دوار (ميدان) الوحدة.
- علاقة مُبهمة: يقع مستشفى ابن سينا بالقرب من حديقة الأندلس.

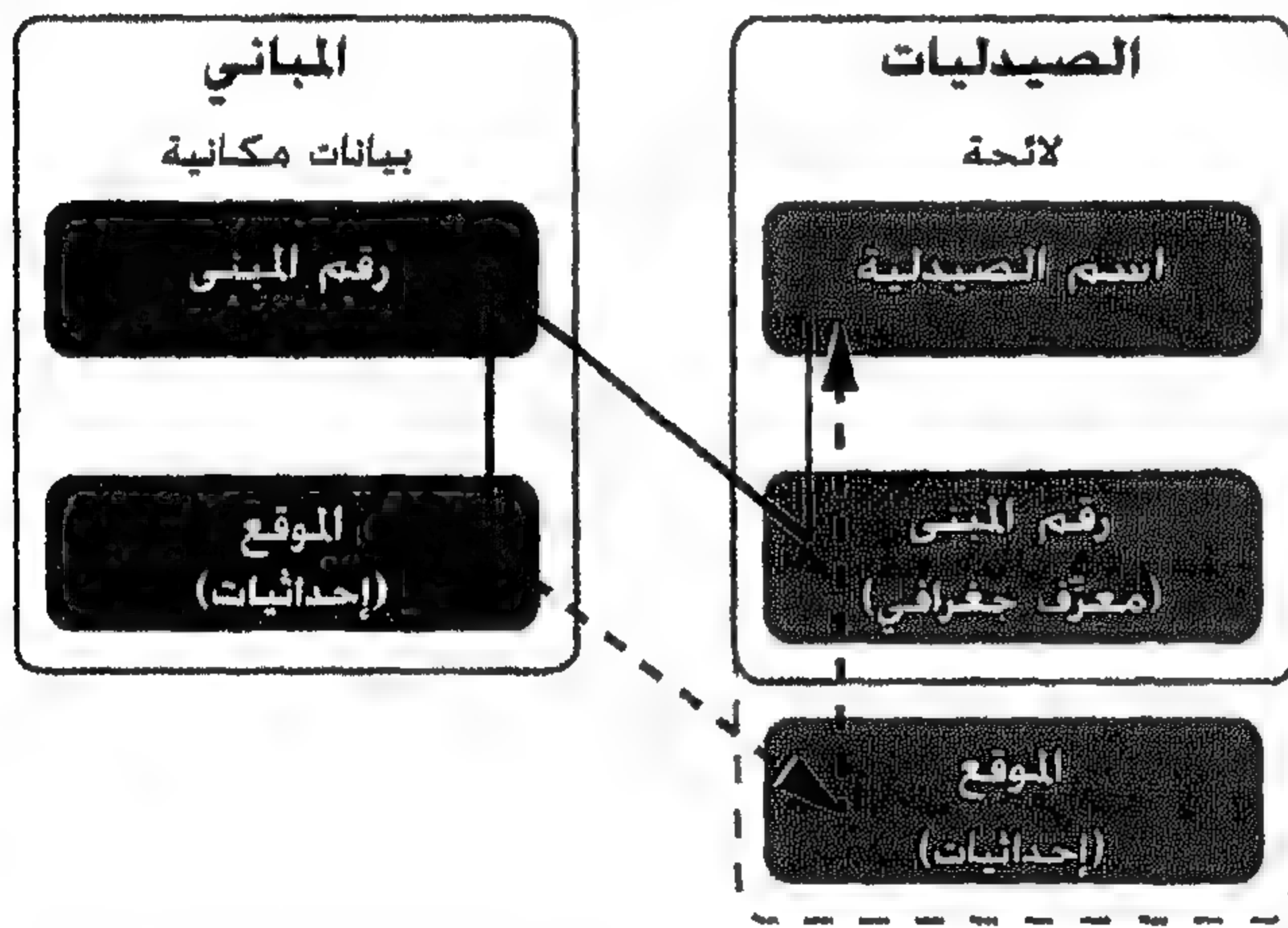
وتتوفر مجموعة من الطرق التي يمكن من خلالها استنتاج إحداثيات هذه المواقع من المعارف الجغرافية، عندما تتوفر بيانات مكانية ذات صلة.

1.5.1. الترميز الجغرافي

الترميز الجغرافي (geocoding) هو تحديد أو استنتاج قيم الإحداثيات لمعالم مُسندة مكانياً باستخدام معرفات جغرافية، ويعتمد استنتاج قيم الإحداثيات على توفر معلومات عن مواقع هذه المعرفات.

إذا كانت البيانات المكانية للصيدليات في مدينتك مثلاً غير متوفرة، ولكن الجهة المختصة تمتلك لائحة تفصيلية بهذه الصيدليات تتضمن أسماءها وأرقام المباني التي تقع فيها، فهذا يعني أن الصيدليات مُسندة مكانياً باستخدام معرف جغرافي هو رقم المبنى.

يمكننا إذاً استنتاج إحداثيات الصيدليات بالاستعانة ببيانات المباني، ويكون ذلك بمطابقة رقم المبنى في بيانات الصيدليات مع رقم المبنى في البيانات المكانية للمباني.



يعتمد هذا المثال على ربط (relate) حقلين من جدولين مختلفين وهي ممارسة شائعة في قواعد البيانات، لكن مفهوم الترميز الجغرافي هو مفهوم أوسع ويشمل تحليل المعلومات النصية التي تصف موقعاً وتحويلها إلى إحداثيات، ويمكن أن تكون هذه المعلومات عنواناً بريدياً أو اسم مكان الخ.

الشكل 1-25 استخدام الترميز الجغرافي للحصول على إحداثيات الصيدليات من إحداثيات المباني

تتوفر مجموعة من أدوات الترميز الجغرافي (geocoders) الفورية على إنترنت. يمكن استخدام الرابط التالي مثلاً للحصول على الإحداثيات لأي عنوان في الولايات المتحدة:

<http://geocoder.us>



1.5.2. المعجم الجغرافي

المعجم الجغرافي (gazetteer) هو دليل للمعرفات الجغرافية التي تصف المواقع مثل الحدود الإدارية (أسماء الدول والمدن والأحياء) وأسماء المباني والشوارع بالإضافة إلى أسماء المعالم الطبيعية مثل الجبال والهضاب والوديان والآبار الخ.

المثال التالي يبين الاستعلام عن سبحة الطابية في المعجم الجغرافي على موقع وكالة الاستخبارات الجيومكانية الوطنية الأمريكية (National Geospatial-Intelligence Agency: NGA):

<http://geonames.nga.mil/ggmagaz>

تقع هذه السبحة (sabkha or salt pan) على الحدود الجزائرية مع ليبيا، وتمتد على مسافة 5 كلم بعرض 1.5 كلم:

GNS Basic View	
Name (Gazetteer Order):	Tābīyah, Sabkhat aṭ (Approved)
Name (Reading Order):	Sabkhat aṭ Tābīyah
Short Name:	NULL
Feature Designation:	NULL
DMS Lat:	30°05'00"N
DMS Long:	009°24'00"E
Country Name (Code):	Algeria (AG)
ADM1 Name (Code):	Illizi (46)
Generic:	Sabkhat
Language Name (Code):	NULL

الجدول 4-1 نتائج الاستعلام عن سبحة الطابية في معجم NGA الجغرافي

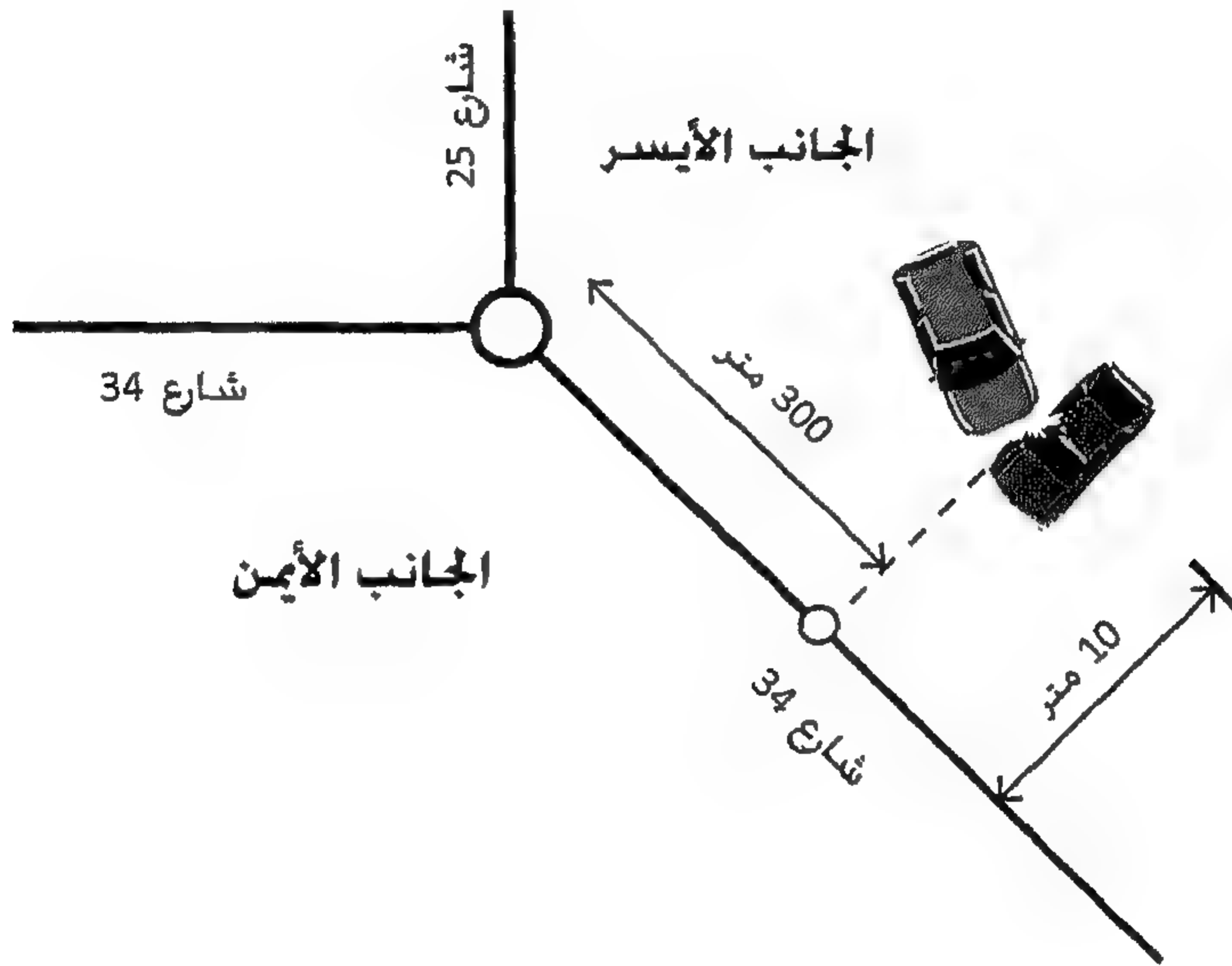
حصلنا في هذا الاستعلام على الإحداثيات الجغرافية لسبحة الطابية في صورة خط عرض وطول، لكن سبحة الطابية منطقة جغرافية كبيرة تغطي 6 كيلومترات مربعة. ولذلك تعتمد الدقة الموقعية للإحداثيات المستنتجة من المعرف الجغرافي على الحدود الجغرافية للمعرف، وكلما كانت الحدود الجغرافية صغيرة أمكن تحديد الإحداثيات بدقة أكبر، والعكس بالعكس.

1.5.3. نظام الإسناد الطولي

نظام الإسناد الطولي (linear referencing system: LRS) هو طريقة أخرى من طرق الإسناد المكاني باستخدام المعرفات الجغرافية ويعتمد بالكامل على القياسات المحلية التي تُنفَّذ على طول

معالم خطية مثل الشوارع وخطوط الخدمات الخ.

المثال التالي يصف موقع حادث مروري، ويُعبّر عن هذا الموقع بأنه على بعد 10 أمتار على الجانب الأيسر بموازاة محور منتصف الشارع 34، على مسافة 300 متر من تقاطع هذا الشارع وشارع 25. ويستخدم الترميز الجغرافي في استنتاج إحداثيات هذا النوع من المواقع بقياس المسافات على طول شبكة الطرق ابتداءً من نقطة معروفة بالإحداثيات مثل تقاطع الشارعين في هذا المثال.



الشكل 1-26 نظام الإسناد الطولي

المواصفات القياسية للإحداثيات

توفر العديد من المواصفات القياسية ذات الصلة بالتقنيات والبيانات والخدمات المكانية، تتناول منها المواصفات القياسية ذات الصلة بموضوع الكتاب؛ أي الإحداثيات والعمليات عليها.

نناقش في هذا الفصل المواصفات القياسية التي طورها جهات دولية ومبتدات وطنية، منها:

- ✓ المنظمة الدولية للمواصفات القياسية (ISO)
- ✓ مجموعة المساحة النقطية الأوروبية (EPSG)
- ✓ الاتحاد الجيومكاني المفتوح (OGC)
- ✓ المؤسسة الجيومكانية للمصادر المفتوحة (OSGeo)
- ✓ الهيئات الوطنية في الولايات المتحدة وأستراليا

2. المواصفات القياسية للإحداثيات

يتوفر العديد من المواصفات القياسية ذات الصلة بالتقنيات المكانية، فقد نشرت مثلاً اللجنة الفنية TC 211 في ISO منذ تأسيسها في العام 1994 وحتى الآن حوالي 70 مواصفة قياسية، بالإضافة إلى عشرات المواصفات القياسية التي نشرتها جهات أخرى عالمية ووطنية ومحلية. وتغطي هذه المواصفات شريحة متنوعة من الموضوعات التي تتناول التقنيات والبيانات والخدمات المكانية، لكننا سنتناول منها في هذا الفصل ما له علاقة بموضوع الكتاب؛ أي نظام الإحداثيات المرجعي والعمليات على الإحداثيات، مع العلم أن نطاق بعض المواصفات القياسية المذكورة أدناه لا ينحصر بالإحداثيات والعمليات عليها فقط، بل تغطي عدة موضوعات من بينها موضوعات ذات صلة بالإحداثيات.

2.1. المنظمة الدولية للمواصفات القياسية

المنظمة الدولية للمواصفات القياسية (ISO) منظمة غير حكومية تعمل على تطوير المواصفات القياسية لتشجيع تجارة السلع والخدمات على مستوى عالمي في شتى المجالات وتضم ممثلين من معظم دول العالم، لكن وثائق ISO محمية بحقوق النشر وتتقاضى المنظمة رسوماً مقابل الحصول على نسخ منها.



تنشط اللجنة الفنية ISO / TC 211 - إحدى اللجان الفنية في المنظمة - في مجال المعلومات الجغرافية الرقمية، وهي اللجنة المسؤولة في ISO عن إعداد سلسلة من المواصفات الفنية والقياسية الدولية ذات الصلة بالتقنيات المكانية تأخذ الأرقام 191XX عادة.

<http://www.iso.org>

<http://www.isotc211.org>

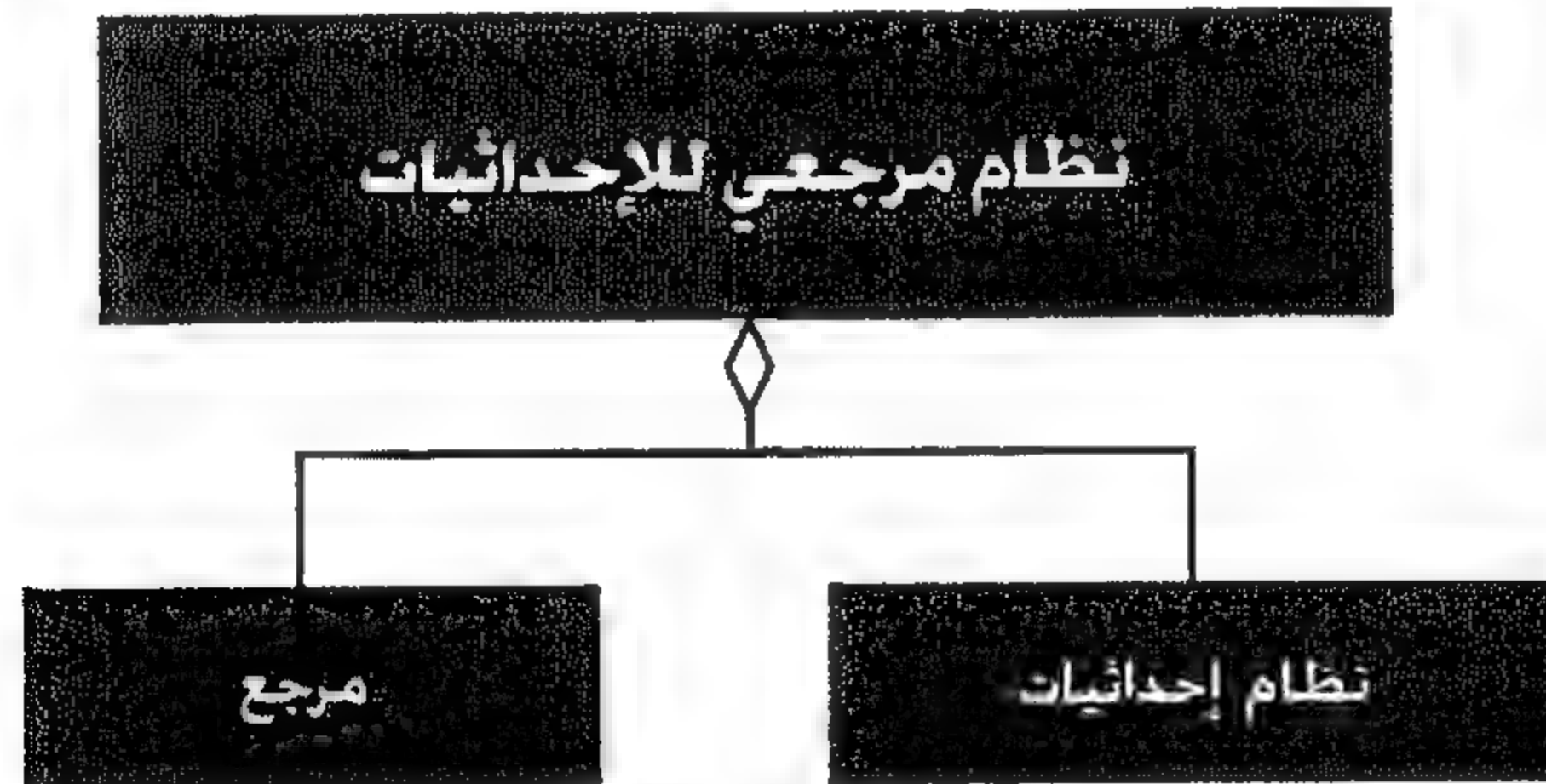
2.1.1. المواصفة القياسية ISO 19111

تصادفك عند مطالعة الموضوعات ذات الصلة بشكل الأرض وأنظمة الإحداثيات في المصادر المختلفة مصطلحات متباينة، وأحياناً متناقضة، سواء بين الاختصاصات أو بين اللغات، ولذلك تتوفر المواصفة القياسية ISO 19111 بعنوان "الإسناد المكاني باستخدام الإحداثيات" (Spatial Referencing by Coordinates) لتوحيد الأسماء والتعريفات والرموز والعمليات المستخدمة في هذا المجال. تحدد هذه المواصفة القياسية المخطط المفاهيمي لأنظمة الإحداثيات المرجعية وتقدم

إطاراً قياسياً للعمليات على الإحداثيات.

وفيما يلي ملخص المواصفة القياسية ISO 19111 (ISO, 2004):

- نظام الإحداثيات (coordinate system: CS) سلسلة من محاور الإحداثيات ذات وحدات قياس محددة يستخدم لتسجيل الإحداثيات. نظام الإحداثيات مفهوم رياضي مجرد ليس له صلة بالأرض.
- يحدد المرجع (datum) صلة نظام الإحداثيات بالأرض من خلال وسيط (parameter) أو مجموعة وسطاء تحدد الخيارات المتعلقة بمبدأ واتجاه ذلك النظام ويضمن بالتالي أن يكون المفهوم الرياضي المجرد لنظام الإحداثيات مفيداً في حل المشاكل العملية ذات الصلة بوصف مواقع المعالم على سطح الأرض أو بالقرب منه باستخدام الإحداثيات المقيسة عليه.
- يتألف نظام الإحداثيات المرجعي (coordinate reference system: CRS) من نظام إحداثيات ومرجع يمنحه صلة بالأرض.



الشكل 1-2 مكونات نظام الإحداثيات المرجعي

2.1.2. المواصفة القياسية ISO 19112

تحدد المواصفة القياسية ISO 19112 بعنوان "الإسناد المكاني باستخدام المعرفات الجغرافية" (Spatial Referencing by Geographic Identifiers) المخطط المفاهيمي للإسناد المكاني بناء على المعرفات الجغرافية، أي أسماء المدن أو الأحياء أو المواقع المعروفة أو العناوين أو الرمز البريدي الخ، بدلاً من الإسناد المكاني باستخدام الإحداثيات التي تتناولها المواصفة القياسية 19111 (انظر 1.5 الإسناد المكاني باستخدام المعرفات الجغرافية)

تؤسس هذه المواصفة القياسية أيضاً لنموذج عام للإسناد المكاني باستخدام هذه المعرفات، وتحدد العناصر الأساسية المطلوبة لإنشاء معجم جغرافي (gazetteer).

2.1.3. المواصفة القياسية ISO 6709

تهدف المواصفة القياسية ISO 6709 بعنوان "التمثيل القياسي لموقع النقطة الجغرافي باستخدام الإحداثيات" (Standard representation of geographic point location by coordinates) إلى خفض التكلفة والزمن في تبادل البيانات المكانية من خلال تعريف الشكل القياسي للإحداثيات، مثل ترتيب قيم الإحداثيات، واستخدام الدرجة العشرية، وتوحيد مبدأ قياس الإحداثيات الأفقية والرأسية ومتى تكون قيمها موجبة أو سالبة.

2.1.4. المواصفتان القياسيتان ISO 19113 و ISO 19114

تحدد المواصفة القياسية ISO 19113 بعنوان "المعلومات الجغرافية - مبادئ الجودة" (Geographic information - Quality Principles) المبادئ المستخدمة في وصف جودة البيانات الجغرافية والمكونات المطلوب توفرها عند تقديم التقارير عن معلومات الجودة، كما تقدم منهجاً يبين كيفية تنظيم المعلومات حول جودة البيانات.

تغطي هذه المواصفة القياسية عدة مواضيع مختلفة، منها الدقة الموقعية (positional accuracy) الذي يتناول دقة الإحداثيات في الاتجاهين الأفقي والرأسي، وتنقسم إلى:

- الدقة الموقعية المطلقة أو الدقة الموقعية الخارجية (absolute positional accuracy or external positional accuracy): قرب قيم الإحداثيات في البيانات المكانية من إحداثياتها الحقيقية على الأرض.
- الدقة الموقعية النسبية أو الدقة الموقعية الداخلية (relative positional accuracy or internal positional accuracy): قرب المسافة بين مواقع المعالم في البيانات المكانية مع ما يقابلها من مسافة حقيقية على الأرض.
- الدقة الموقعية للبيانات الشبكية (gridded data position accuracy): قرب قيم الإحداثيات في البيانات الشبكية (مثل الصور الجوية) من إحداثياتها الحقيقية على الأرض.

لا تحدد هذه المواصفات الحدود الدنيا المقبولة للدقة الموقعية في البيانات المكانية، بل تترك مهمة ذلك إلى منتجي ومستخدمي البيانات لتحديد ذلك حسب الاحتياجات والهدف من استخدام البيانات المكانية، وعادة تضطلع الهيئات الوطنية بمهمة تحديد الحدود الدنيا للدقة الموقعية المطلوبة للبيانات المكانية لكل مقياس من مقاييس الخريطة (انظر 2.5 المواصفات القياسية الوطنية).

في المقابل، توفر المواصفة القياسية ISO 19114 بعنوان "المعلومات الجغرافية - إجراءات تقييم الجودة" (Geographic Information - Quality Evaluation Procedures) الإطار المطلوب للإجراءات المستخدمة في تحديد وتقييم جودة البيانات الجغرافية الرقمية، على ضوء المبادئ المحددة في المواصفة القياسية ISO 19113.

يستخدم منتج البيانات المواصفة القياسية ISO 19114 لتحديد ما إذا كانت جودة البيانات المكانية تتطابق مع مواصفات المنتج، كما يستفيد منها مستخدمو البيانات لتحديد ما إذا كانت جودة هذه البيانات تلبي الهدف من استخدامها.

2.1.5. المواصفتان القياسيتان ISO 19115 و ISO 19139

طورت منظمة المعايير الدولية المواصفة القياسية ISO 19115 بعنوان "المعلومات الجغرافية - ما وراء البيانات" (Geographic Information - Metadata) لتوفير المبادئ التوجيهية لوصف البيانات والخدمات الجغرافية باستخدام مجموعة من المعلومات الإلزامية والاختيارية.

ما وراء البيانات (metadata) هي المعلومات عن البيانات، فإذا افترضنا أن الصورة الفوتوغرافية هي البيانات، فإن ما وراء البيانات هي المعلومات عن هذه الصورة مثل تاريخ ومكان التقاط الصورة، ونوع آلة التصوير المستخدمة الخ.



Meta- هي بادئة (prefix) مأخوذة من الكلمة اليونانية meta التي تعني بعد، وراء، بجوار. وقد تعرض العرب إلى كلمة تبدأ بها هي الميتافيزيقيا، وسموها "ما وراء الطبيعة". تستخدم بعض وثائق الأمم المتحدة مصطلح البيانات الفوقية أو البيانات الوصفية للدلالة على ما وراء البيانات.

تغطي المبادئ التوجيهية في المواصفة القياسية المواصفة القياسية ISO 19115 مواضيع مختلفة منها الهوية والقيود والتوزيع بالإضافة إلى موضوعين لهما صلة بالكتاب:

- الجودة: ويشمل هذا العنصر مجموعة من العناصر الفرعية منها عنصر الدقة الموقعية (كما في المواصفة القياسية ISO 19113) الذي يغطي بدوره العناصر الفرعية التالية:

- ◀ الدقة الموقعية المطلقة والدقة الموقعية النسبية.

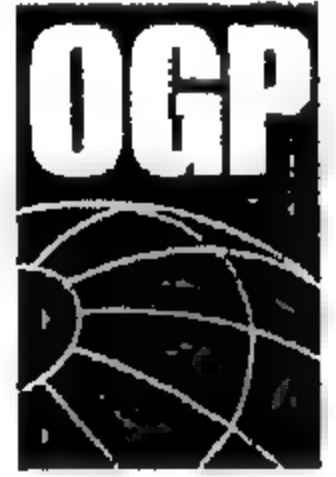
- ◀ الدقة الموقعية للبيانات الشبكية مثل الصور الجوية.

- نظام الإسناد أي المعلومات عن النظام المرجعي للإحداثيات (كما في المواصفة القياسية ISO 19111)، ويشمل عنصر نظام الإسناد العناصر الفرعية التي تغطي نظام الإحداثيات المرجعي للبيانات مثل:
◀ نظام الإحداثيات المرجعي الذي يصف المرجع والمجسم الإهليلجي ونظام الإسقاط.

أما المواصفة القياسية ISO 19139 بعنوان "المعلومات الجغرافية - ما وراء البيانات - مخطط التنفيذ باستخدام XML" (Geographic Information - Metadata - XML Schema Implementation) فتوفر المخطط التنفيذي للمواصفة القياسية ISO 19115 باستخدام XML، وذلك بتحديد هيئة (format) سجل ما وراء البيانات. ويمكن استخدام هذا المخطط لوصف المعلومات ذات الصلة بما وراء البيانات المعدة باستخدام XML، والتحقق من صحة هذه المعلومات، وتبادلها.

2.2. مجموعة المساحة النفطية الأوروبية

تكتسب مجموعة بيانات مجموعة المساحة النفطية الأوروبية (European Petroleum Survey Group: EPSG) أهمية خاصة أيضاً في جميع التطبيقات وليس في مجال النفط فقط، نظراً لأنها مصدر قياسي لتعريف وتوفير المعلومات ذات الصلة بالأنظمة المرجعية للإحداثيات وعمليات الإسقاط وتحويل الإحداثيات.



عملت EPSG - وهي منظمة علمية تضم متخصصين في الجيوديسيا التطبيقية والمساحة وفن إعداد الخرائط - في مجال اكتشاف النفط في أوروبا بين الأعوام 1986 و2005. طورت EPSG ونشرت قاعدة بيانات بالمجسمات الإهليلجية والمراجع الجيوديسية وأنظمة الإحداثيات الجغرافية والإحداثيات المستقطعة ووحدات القياس ذات الصلة، بالإضافة إلى عمليات قياسية على الإحداثيات.

في العام 2005 استحوذت الرابطة الدولية لمنتجي النفط والغاز (International Association of Oil & Gas Producers: OGP) على EPSG.

www.epsg.org

www.ogp.org.uk

2.2.1. مجموعة بيانات الوسطاء الجيوديسية من EPSG

مجموعة بيانات الوسطاء الجيوديسية من EPSG (EPSG Geodetic Parameter Dataset) هي سجلّ (registry) يتضمن الأنظمة المرجعية للإحداثيات وعمليات التحويل بينها. يغطي هذا السجلّ الأنظمة والتحويلات من جميع دول العالم، ويشرف على صيانتها اللجنة الفرعية للجيوديسيا في الرابطة الدولية لمنتجي النفط والغاز.

يمكن للزوار الاستعلام عن البيانات وطباعتها، ويوفر السجلّ للمستخدمين المسجلين خدمات إضافية، مثل تصدير مجموعة البيانات بأكملها في هيئة GML 3.2.

بالإضافة إلى ذلك يوفر السجلّ هذه المعلومات في صورة خدمة على ويب (web service)، ما يسمح للمطوّرين والبرمجيات بتنفيذ الاستعلامات عن الوسطاء الجيوديسية عن طريق ويب.

يُعدّ استخدام رمز EPSG كافياً لتعريف نظام الإحداثيات المرجعي أو أحد مكوناته أو العمليات عليها. المثال التالي جزء من تطبيق GeoJSON على ويب، يشير إلى النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية WGS 84 باستخدام رمز EPSG ومن دون الحاجة إلى تحديد اسمه أو وسطائه:

```
{'type': 'EPSG', 'properties': {'code': 4326}}
```

توفر EPSG مستندات الدعم الفني والأدلة التوجيهية ذات الصلة بمجموعة بيانات الوسطاء الجيوديسية في أجزاء هي:

- الجزء 1: استخدام مجموعة بيانات الوسطاء الجيوديسية من EPSG.
- الجزء 2: تغيير وتحويل الإحداثيات بما في ذلك المعادلات.
- الجزء 3: دليل مطوري السجلّ.
- الجزء 4: دليل مطوري قاعدة البيانات.

يمكن زيارة سجل EPSG على ويب في الرابط التالي:

<http://www.epsg-registry.org>

ويمكن الوصول إلى هذه المستندات والأدلة التوجيهية في الرابط التالي:

<http://www.epsg.org/guides/index.html>

2.3. الاتحاد الجيومكاني المفتوح

طوّر الاتحاد الجيومكاني المفتوح (Open Geospatial Consortium: OGC) مجموعة واسعة من المواصفات القياسية التي تحدد شروط المطابقة (conformance) الواجب توفرها في الأنظمة والبرمجيات حتى تصبح متوافقة مع OGC. بعض هذه الشروط تغطي الأنظمة المرجعية للإحداثيات، ويعتمدها منتجو البرمجيات.

OGC®

2.3.1. النص المعروف (WKT)

النص المعروف (well-known text: WKT) لغة ترميز نصية (text markup language) لتمثيل البيانات المتجهة (vector data) ونظام الإحداثيات المرجعي ومكوناته والتحويل بين الأنظمة المرجعية للإحداثيات.

النسخة الثنائية من النص المعروف تستخدم لنقل وتخزين ذات المعلومات في هيئة ثنائية، وتسمى الهيئة الثنائية المعروفة (well-known binary: WKB).

طوّر الاتحاد الجيومكاني المفتوح النص المعروف ضمن المواصفتين القياسيتين "الوصول إلى المعالم البسيطة" (Simple Feature Access) و"خدمة تحويل الإحداثيات" (Coordinate Transformation Service)، ثم أصبح جزءاً من المواصفة القياسية ISO 13249 بعنوان "تقنية المعلومات - لغات قاعدة البيانات - الوسائط المتعددة وحزم التطبيق باستخدام SQL - الجزء 3: المكاني" (Information Technology - Database Languages - SQL Multimedia - Part 3: Spatial and Application Packages).

على الرغم من أن رمز EPSG كاف لتعريف نظام الإحداثيات المرجعي تعريفاً دقيقاً وفريداً، إلا أن هذا الرمز يعتمد بصورة كاملة على الوصول إلى قاعدة بيانات EPSG. لذلك يستخدم النص المعروف لتعريف نظام الإحداثيات المرجعي ومكوناته.

وفيما يلي تعريف النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية WGS 84 باستخدام نسخة OGC من النص المعروف ويظهر فيه رموز النظام المرجعي والمرجع الجيوديسي والمجسم الإهليلجي وخط زوال غرينيتش والدرجة في قاعدة بيانات EPSG وهي 4326 و 6326 و 7030 و 8901 و 9122 على التوالي:

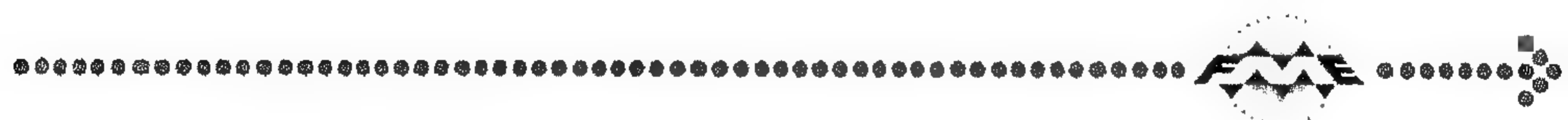
```
GEOGCS["WGS 84",
  DATUM["WGS_1984",
    SPHEROID["WGS 84",6378137,298.257223563,
      AUTHORITY["EPSG","7030"]],
    AUTHORITY["EPSG","6326"]],
  PRIMEM["Greenwich",0,
    AUTHORITY["EPSG","8901"]],
  UNIT["degree",0.01745329251994328,
    AUTHORITY["EPSG","9122"]],
  AUTHORITY["EPSG","4326"]]
```



صيغة ESRI من النص المعروف مختلفة قليلاً. النص المعروف التالي يعرف النظام WGS 84 بصيغة ESRI:

```
GEOGCS["GCS_WGS_1984",
  DATUM["D_WGS_1984",
    SPHEROID["WGS_1984",6378137,298.257223563]],
  PRIMEM["Greenwich",0],
  UNIT["Degree",0.017453292519943295]]
```

البيانات المكانية المخزنة في هيئة (format) ملف SHP في ArcGIS يرافقها عادة ملف آخر يحمل الاسم ذاته واللاحقة PRJ ويتضمن معلومات النظام المرجعي لإحداثيات البيانات المكانية في صيغة WKT.



يتوفر في FME المحوّل (transformer) CoordinateSystemDescriptionConverter الذي يسمح بتحويل تعريف نظام الإحداثيات المرجعي بين الصيغ المختلفة التي تعتمد البرمجيات. يدعم هذا المحوّل تحويل صيغ FME و WKT و Autodesk و EPSG و ESRI و MapInfo و OGC WKT و Oracle SRID و PROJ.4.

2.3.2. معرف النظام المرجعي المكاني (SRID)

معرف النظام المرجعي المكاني (spatial reference system identifier: SRID) قيمة

فريدة تستخدم لتحديد نظام الإحداثيات المرجعي، ويتوفر في معظم البرمجيات المتوافقة مع مواصفات OGC القياسية قاعدة بيانات بمعرفات الأنظمة المرجعية المكانية لاستخدامها أثناء العمل، وتكون هذه المعرفات أما معرفات EPSG وهي الحالة الشائعة، أو معرفات خاصة بالمنتج.

في أنظمة قواعد البيانات المكانية، مثل Oracle و Microsoft SQL Server و IBM DB2 و IBM Informix و MySQL و Teradata و PostgreSQL و SQL Anywhere، يستخدم SRID لتحديد نظام إحداثيات الكائنات المكانية المخزنة في قاعدة البيانات. ويُعرّف SRID عادة باستخدام صيغة النص المعروف (WKT).

يكتسب SRID أهمية خاصة في مواصفات OGC القياسية، فهو المفتاح الرئيس لجدول spatial_ref_sys في النسختين 1.1 و 1.2 من المواصفة القياسية Simple Features for SQL Specification، التي يلتزم بها منتجي البرمجيات، ويُعرّف على النحو التالي:

```
CREATE TABLE SPATIAL_REF_SYS
(
  SRID    INTEGER NOT NULL PRIMARY KEY,
  AUTH_NAME CHARACTER VARYING(256),
  AUTH_SRID INTEGER,
  SRTEXT  CHARACTER VARYING(2048)
)
```

يستخدم SRID لتقييد العمليات المكانية، فبعض البرمجيات مثلاً لا تسمح بتنفيذ العمليات المكانية بين كائنات مكانية لها قيم SRID مختلفة.



تتطابق معرفات الأنظمة المرجعية للإحداثيات وعمليات تحويل الإحداثيات وطرق الإسقاط الخ في الإصدارات الحديثة من نظام Oracle Spatial مع معرفات EPSG وبالتالي يمكن استخدام الأخيرة في النظام كما هي. ولكن الإصدارات الأقدم من Oracle Spatial كانت تستخدم معرفات خاصة، وما زالت الإصدارات الحديثة من Oracle Spatial تدعم تلك المعرفات القديمة لأغراض التوافقية مع الإصدارات الأقدم (backward compatibility).

ويمكن الحصول على معرف النظام المرجعي المكاني في Oracle Spatial المقابل لمعرف EPSG باستخدام البرنامج الفرعي MAP_EPSG_SRID_TO_ORACLE في حزمة SDO_CS. المثال التالي يعيد SRID في الإصدارات القديمة من Oracle Spatial المقابل لنظام WGS 84:

```
SQL> SELECT SDO_CS.MAP_EPSG_SRID_TO_ORACLE(4326) FROM DUAL;
```

```
SDO_CS.MAP_EPSG_SRID_TO_ORACLE(4326)
```

```
-----
8307
```



يمكن الاستعلام في Oracle Spatial عن صيغة النص المعروف (WKT) لأي نظام مرجعي. المثال التالي يعرض صيغة النص المعروف للنظام المرجعي المكاني 8307؛ أي المَعْرِف القديم للنظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية WGS 84 في النظام:

```
SQL> SELECT "SRID", "WKTEXT" FROM "MDSYS"."SDO_CS_SRS" WHERE SRID = 8307
SRID
```

```
-----
WKTEXT
```

```
-----
8307
```

```
GEOGCS [ "Longitude / Latitude (WGS 84)", DATUM [ "WGS 84, SPHEROID [ "WGS 84",
6378137, 298.257223563]], PRIMEM [ "Greenwich", 0.000000 ], UNIT [ "Decimal Degree",
0.01745329251994330]]
```

لاحظ أنه لا يوجد فرق بين النظامين المرجعيين 4326 و 8307 في Oracle Spatial، حيث ما زال هذا النظام يدعم استخدام المَعْرِفات القديمة لأغراض التوافقية كما ذكرنا. الاستعلام عن النص المعروف الخاص بمَعْرِف النظام المرجعي المكاني 4326 يعيد ذات المعلومات:

```
SQL> SELECT "SRID", "WKTEXT" FROM "MDSYS"."SDO_CS_SRS" WHERE SRID = 4326
SRID
```

```
-----
WKTEXT
```

```
-----
4326
```

```
GEOGCS [ "WGS 84", DATUM [ "World Geodetic System 1984 (EPSG ID 6326)", SPHEROID
[ "WGS 84 (EPSG ID 7030)", 6378137.0, 298.257223563]], PRIMEM [ "Greenwich",
0.000000 ], UNIT [ "Decimal Degree", 0.0174532925199433]]
```

2.3.3. خدمة تحويل الإحداثيات

توفر خدمة تحويل الإحداثيات (coordinate transformation service: CTS) للأنظمة والبرمجيات طريقة قياسية لتحديد الكيفية التي تُحوَّل من خلالها الإحداثيات، وتتناول هذه المواصفة القياسية الشرط الأساسي لتراكب (overlay) البيانات الجغرافية من مصادر متنوعة وهو تنفيذ التحويل بحيث تُعرَّف كافة البيانات المكانية بالنسبة إلى نظام الإحداثيات المرجعي ذاته.

تشمل التحويلات جميع أنواع العمليات على الإحداثيات بما في ذلك تحويل البيانات بين مرجعين مختلفين أو إسقاط البيانات حسب طريقة إسقاط معينة. الكائنات المكانية الناتجة من التحويل هي ذات الكائنات ولكن في نظام الإحداثيات المرجعي الهدف.

2.3.4. خدمة تحويل الإحداثيات على ويب (WCTS)

تقوم خدمة تحويل الإحداثيات على ويب (web coordinate transformation service: WCTS) بتحويل البيانات المكانية الرقمية المحفوظة في هيئة XML مثل GML من نظام إحداثيات مرجعي إلى نظام آخر.

ما زالت هذه المواصفة القياسية حديثة نسبياً، ولم تُطبَّق بعد في معظم الأنظمة والبرمجيات، باستثناء GeoMedia SDI Portal 6.1.0 و GeoMedia SDI Pro 6.1 من شركة Intergraph.

تتوفر بعض الخدمات الفورية على ويب لتغيير وتحويل الإحداثيات، وتدعم إدخال الإحداثيات أو تحميل بيانات مكانية مخزنة في هيئة XML بما في ذلك GML، ومن هذه الخدمات:

<http://www.opencts.org>



2.4. المؤسسة الجيومكانية للمصادر المفتوحة

المؤسسة الجيومكانية للمصادر المفتوحة (Open Source)

Geospatial Foundation: OSGeo) مؤسسة غير ربحية وغير

حكومية تتمثل مهمتها في دعم وتشجيع التعاون على تطوير التقنيات

والبيانات المكانية مفتوحة المصدر للمنفعة العامة.



تأسست OSGeo لتقديم الدعم المالي والتنظيمي بهدف توسعة مجتمع المصادر الجيومكانية الحرة ومفتوحة المصدر، ويكون هيئة قانونية مستقلة تسمح لأفراد المجتمع بالمشاركة لتحقيق أهداف المؤسسة من خلال توفير الشفرة المصدرية (source code) والتمويل والموارد الأخرى.

تتضمن مشروعات OSGeo عدداً كبيراً من المكتبات المهمة مثل FDO لتحويل هيئات (formats) البيانات المكانية ومعالجتها وتحليلها وGDAL لقراءة وكتابة البيانات المتسامية (raster data) مثل الصور الجوية وصور الأقمار الاصطناعية وPostGIS وهو الملحق المكاني لقاعدة البيانات PostgreSQL، بالإضافة إلى التطبيقات المكتبية (desktop applications) مثل برنامج GRASS GIS وQuantum GIS، وتطبيقات ويب مثل MapServer.

<http://www.osgeo.org>

2.4.1. المشروع MetaCRS

يضم المشروع MetaCRS العديد من التقنيات ذات الصلة بالأنظمة المرجعية للإحداثيات. يهدف هذا المشروع إلى جمع أنشطة OSGeo ومشروعاتها ذات الصلة بالأنظمة المرجعية للإحداثيات تحت إطار واحد بهدف مواءمة هذه المشروعات وربما دمجها في تقنية واحدة لاحقاً، وتوفير منصة للأعضاء للتعاون وتبادل المعلومات ذات الصلة مثل تعريفات الأنظمة المرجعية للإحداثيات وأدوات الاختبار والمعادلات الرياضية.

2.4.1.1. المشروع الفرعي PROJ.4

المشروع الفرعي PROJ.4 مكتبة لتنفيذ التحويل بين الأنظمة المرجعية للإحداثيات، وتوفر هذه المكتبة أيضاً الملفات التنفيذية المطلوبة لتنفيذ التحويلات من سطر الأوامر. ومن المشروعات الفرعية المبنية على PROJ.4 مكتبة Proj4jz الموجهة للغة Java وProj4js الموجهة لـ JavaScript.

2.4.1.2. المشروع الفرعي CS-Map

استحوذت Autodesk على المكتبة CS-Map في العام 2007 بشرائها من شركة Mentor Software وحولتها إلى مصدر مفتوح، ثم تبرعت بها إلى المؤسسة الجيومكانية للمصادر المفتوحة لينضم إلى المشروعات الفرعية تحت المشروع MetaCRS.

لم تكن المكتبة CS-Map أول إسهام لشركة Autodesk باتجاه المصادر المفتوحة، فقد تبرعت قبل ذلك بتطبيق MapGuide وتقنية FDO إلى OSGeo لتوفيرها إلى مجتمع المصادر المفتوحة.

تضم CS-Map أكثر من 3000 نظام مرجعي للإحداثيات، وتستخدم هذه المكتبة في AutoCAD Map 3D و Autodesk Infrastructure Map Server، و FME، كما يدعم الملحق Data Interoperability في ArcGIS 10.1 المكتبة CS-Map نظراً لأن هذا الملحق مبني على تقنية FME.

2.5. المواصفات القياسية الوطنية

تضطلع الجهات الرسمية داخل الدولة بتطوير المواصفات القياسية ذات الصلة بالتقنيات المكانية، وتغطي هذه المواصفات القياسية الوطنية موضوعات مختلفة، منها ما يتعلق بنظام الإحداثيات المرجعي مثل المرجع الجيوديسي المعتمد والإسقاط والتحويل بين الأنظمة المرجعية الخ، وهو موضوع نبثه في الفصول القادمة من الكتاب، ومنها ما يتعلق بالمواصفات القياسية والفنية للشبكات الجيوديسية (انظر 3.6.1 المواصفات القياسية للشبكة الجيوديسية).

بالإضافة إلى ذلك تغطي هذه المواصفات الحدود المقبولة للدقة الموقعية في البيانات المكانية ومقاييس الرسم القياسية. ونلخص في الفقرات التالية بعض المواصفات القياسية الوطنية التي تُعنى بدقة البيانات المكانية، وهي:

- المواصفات القياسية الوطنية لدقة الخرائط في الولايات المتحدة.
- المواصفات القياسية للجمعية الأمريكية للمساحة التصويرية والاستشعار عن بعد (الولايات المتحدة)
- المواصفات القياسية الوطنية لدقة للبيانات المكانية (الولايات المتحدة)
- المواصفات القياسية الأسترالية للدقة الأفقية في الخرائط والبيانات المكانية (أستراليا)

بصورة عامة، يتم التحقق من دقة البيانات المكانية في جميع هذه المواصفات القياسية بمقارنة الإحداثيات الأفقية (المواقع) والإحداثيات الرأسية (الارتفاعات) لمجموعة من النقاط مع ما يقابلها من إحداثيات مقيسة بقياسات ذات دقة أعلى. وتختلف هذه المواصفات بالمنهجية والأدوات الإحصائية المستخدمة في عرض أخطاء الإحداثيات.

وقبل عرض هذه المواصفات القياسية لا بد من الحديث أولاً عن مقياس الخريطة نظراً لأنه المرجع في متطلبات الدقة في هذه المواصفات. وبصورة عامة، يمكن تعريف مقياس الخريطة (map scale) بالعلاقة أو النسبة بين المسافة على الخرائط أو صور الاستشعار عن بعد والمسافة المناظرة لها على الأرض. على سبيل المثال، إذا كان مقياس الخريطة 1:100,000 فهذا يعني أن كل 1 سم

على الخريطة يساوي 100,000 سم أو 1 كلم على الأرض (انظر 4.7 المحافظة على المقياس).

كلما كان مقياس الخريطة صغيراً ظهرت على الخريطة منطقة أكبر من العالم ولكن بتفاصيل صغيرة، ما يعني أن خرائط العالم هي خرائط ذات مقياس صغير (small scale)، أما الخرائط التي تظهر فيها منطقة صغيرة بتفاصيل أكثر مثل المباني فهي خرائط ذات مقياس كبير (large scale).

قبل ظهور التقنيات المكانية وطباعة الخرائط بالحاسوب في نظام المعلومات الجغرافية، كانت الخرائط ترسم باليد، وكان مقياس الخريطة عاملاً حاسماً في دقتها نظراً لعرض القلم المستخدم في رسم الخريطة. فإذا كانت خريطة بمقياس 1:24,000 مثلاً ومرسومة بقلم عرضه 0.5 ملم فهذا يعني أن الخط على الخريطة يمثل على الأرض شريطاً عرضه 12 متراً، وإذا كان الخط يمثل ضفة نهر يمكننا أن نقول أن الضفة تقع في مكان ما ضمن هذه الخط.

تتم طباعة الخرائط اليوم بالحاسوب وبأي مقياس يختاره المستخدم، ومع ذلك ما زال المقياس عاملاً حاسماً في تحديد الدقة الموقعية للخريطة الورقية المطبوعة، لأن المعالم الجغرافية ما زالت ترسم بخطوط ذات عرض معين، كما أن هذه المعالم تظهر أو تختفي من الخريطة وتحتاج في كثير من الأحيان إلى تعميم (generalization) أي تبسيط وذلك بحذف التفاصيل التي لا تظهر في مقياس الرسم الصغيرة.

عموماً يجب ألا تتم طباعة بيانات مكانية بالحاسوب بمقياس رسم أكبر من مقياس رسم البيانات الأصلية، مثل طباعة خريطة بمقياس 1:1,000 من بيانات مكانية ناتجة من ترقيم (digitizing) خريطة مقياسها 1:10,000.

أما البيانات الرقمية المعروضة على شاشة الحاسوب فيمكن معاينتها في مستويات تقريب/تباعد (zoom) مختلفة على الشاشة يقابل كل منها مقياس رسم محدد، وفي هذه الحالة يُحدد المستوى المناسب من التقريب/التباعد انطلاقاً من الدقة التي يوفرها مصدر هذه البيانات كما يلي:

- البيانات الرقمية المستخرجة من الصور الجوية أو الخرائط المسوحة (scanned) تترث تلقائياً الدقة الموقعية للبيانات الأصلية؛ أي الدقة الموقعية للصورة الجوية أو الخريطة المسوحة التي يحددها مقياس الصورة أو الخريطة، ما يعني أن مستوى التقريب المناسب يجب ألا يتجاوز مقياس رسم البيانات الأصلية، فهذه البيانات الرقمية لا يرتفع مستوى دقتها الموقعية بتقريبها.

- البيانات الرقمية الأخرى المقيسة بتقنيات ذات دقة موقعية عالية مثل نظام الملاحة

بالأقمار الاصطناعية باستخدام الرصد المتحرك في الوقت الحقيقي (RTK) مناسبة للعرض في مستويات تقريب كبيرة.

عند تجميع بيانات مكانية من مصادر مختلفة في منتج واحد بحيث لا يمكن التمييز بينها، تصبح الدقة الموقعية للمنتج الجديد مساوية لأدنى دقة موقعية في إحدى طبقات هذه البيانات، ولذلك يجب في هذه الحالة توثيق ذلك في تقرير الجودة (انظر 2.1.4 المواصفتان القياسيتان ISO 19113 و ISO 19114).

لم يعد مفهوم مقياس الخريطة مناسباً للاستخدام مع البيانات المكانية الرقمية التي تُجمع وتخزن في وسائط رقمية وتُعرض في البرمجيات والأنظمة الحاسوبية. ولذلك ظهرت اتجاهات حديثة تقترح استخدام مفهوم يتناسب مع هذا الواقع الرقمي الجديد، مثل مستوى التفصيل الجغرافي.

2.5.1. مكتب الموازنة الأمريكي

نشر مكتب الموازنة الأمريكي في العام 1941 المواصفات القياسية الوطنية لدقة الخرائط في الولايات المتحدة (United States National Map Accuracy Standards: NMAS)، وتعد هذه المواصفات أول مواصفات قياسية شاملة من هذا النوع في تاريخ الولايات المتحدة. تستخدم هذه المواصفات القياسات على الخريطة لتحديد الدقة بدلاً من القياسات على الأرض، وتبين الحدود الدنيا المقبولة لها حسب مقياس الرسم وفي سوية الثقة (confidence level) 90%، ويعني ذلك أن تفي 90% من نقاط التحقق على الأقل بالحدود الدنيا للدقة الموقعية. تنقسم الخرائط بالنسبة للدقة الموقعية الأفقية في هذه المواصفة إلى قسمين:

- الخرائط بمقياس 1:20,000 أو أكبر؛ مثل الخرائط بمقياس 1:4,800، و 1:2,400 الخ.
- الخرائط بمقياس 1:20,000 أو أصغر، مثل الخرائط بمقياس 1:50,000، و 1:250,000 الخ.

وفي ما يلي الترجمة الكاملة للمواصفة القياسية NMAS:

"بغية الاقتصاد والسرعة القصوى في إنتاج الخرائط التي لا تنحصر فقط بتلبية الشريحة الواسعة من متطلبات الخرائط القياسية أو الأساسية، بل تغطي أيضاً الاحتياجات المعقولة الخاصة بالجهات الفردية، يُعرّف مستوى دقة الخرائط المطبوعة على النحو التالي:

1. الدقة الأفقية: بالنسبة للخرائط بمقياس 1:20,000 أو أكبر، يجب ألا يعاني أكثر من 10 في المائة من نقاط التحقق من خطأ أكبر من 1/30 من البوصة مقيساً بوحدة قياس الخريطة؛ أما في

الخرائط بمقياس 1:20,000 أو أصغر فتكون 1/50 من البوصة. في جميع الحالات، يجب تطبيق هذه الحدود من الدقة على مواقع النقاط واضحة المعالم فقط. النقاط واضحة المعالم هي تلك النقاط من الخريطة التي يمكن رؤيتها والعثور عليها بسهولة على الأرض مثل: الصروح ونقاط التحكم مثل علامات المنسوب، علامات حدود الممتلكات؛ تقاطعات الطرق والسكك الحديدية، وما إلى ذلك من زوايا المباني أو المنشآت الكبيرة (أو نقاط مركز الأبنية الصغيرة الخ). وعموماً يعتمد تحديد النقاط واضحة المعالم على ما يمكن طباعته على الخريطة بمقياسها ضمن 1/100 من البوصة. هذا يعني أن نقاط تقاطع خطوط الطرق أو الممتلكات التي تلتقي بزاوية قائمة يمكن عدّها نقاطاً واضحة المعالم، لكن هذه الخطوط إذا التقت بزاوية حادة لا تُعدّ نقاط التقائها واضحة المعالم لأنها لا يمكن التعرف عليها عملياً ضمن 1/100 من البوصة. وبالمثل، فإن المعالم التي لا يمكن تمييز حدودها على الأرض ضمن مسافة قريبة لا يمكن استخدامها كنقاط تحقق، حتى إن ظهرت بوضوح على الخريطة. ومن الأمثلة على هذا النوع من المعالم خطوط الأشجار وحدود التربة، الخ.

2. عند تطبيق الدقة الرأسية على خرائط المناسيب (contour) - وفي أي مقياس رسم - يجب ألا يعاني أكثر من 10 في المائة من الارتفاعات في نقاط التحقق من خطأ قيمته أكبر من نصف قيمة فاصل (interval) المنسوب. وعند التدقيق في الارتفاعات المأخوذة من الخريطة يمكن إنقاص الخطأ الرأسي بافتراض وجود إزاحة أفقية على ألا تزيد هذه الإزاحة الأفقية عن الخطأ الأفقي المسموح به في خريطة بذلك المقياس.

3. ويمكن اختبار دقة أي خريطة بمقارنة مواقع أو ارتفاعات النقاط التي تظهر عليها مع ما يقابلها من مواقع تحددها قياسات ذات دقة أعلى. تقوم الجهة المنتجة بإجراء التحقق، وتحدد أيضاً أياً من خرائطها سيخضع لهذا الاختبار، ومدى عملية التحقق هذه.

4. في الخرائط المطبوعة التي تفي بمتطلبات الدقة يجب التنويه بذلك على حاشية الخريطة، على النحو التالي: "تتوافق هذه الخريطة مع المواصفات القياسية الوطنية لدقة الخرائط".

5. في الخرائط المطبوعة التي يتجاوز فيها الخطأ الحدود المذكورة أعلاه يجب حذف أية إشارة إلى الدقة القياسية من حاشية الخريطة.

6. عندما تنتج الخريطة المطبوعة من عملية تكبير (enlargement) ملحوظ لخريطة مرسومة أو مطبوعة، يجب ذكر هذه الحقيقة في الحاشية. على سبيل المثال: "هذه الخريطة تكبير لخريطة مرسومة بمقياس 1:20,000"، أو "هذه الخريطة هي تكبير لخريطة مطبوعة بمقياس 1:24,000".

7. لتسهيل تبادل واستخدام المعلومات الأساسية في تجميع الخرائط في الجهات الاتحادية المنتجة للخرائط، يجب أن يتقيد حجم الخرائط المرسومة والمطبوعة - حيثما كان ذلك ممكناً واقتصادياً

ومنسجماً مع الأغراض التي أنشئت الخريطة من أجلها - بحدود خطوط العرض والطول، وهي 15 دقيقة من دقائق خطوط العرض والطول، أو 7.5 دقيقة، أو 3-3/4 (ثلاثة وثلاثة أرباع) الدقيقة". (U.S. Bureau of the Budget, 1947)

يبين الجدول التالي أمثلة من حدود الدقة الموقعية الأفقية في سوية الثقة 90% لمقاييس رسم مختلفة حسب مواصفات NMAS، مع تقريبها إلى المتر:

مقياس الخريطة	الدقة الأفقية	الدقة الأفقية
	في سوية الثقة 90% (قدم)	في سوية الثقة 90% (متر)
1:1,200 (1"=100')	3.3	1.0
1:2,400 (1"=200')	6.7	2.0
1:4,800 (1"=400')	13.3	4.1
1:10,000	27.8	8.5
1:12,000 (1"=1000')	33.3	10.2
1:24,000 (1"=2000')	40.0	12.2
1:25,000	41.8	12.8
1:63,360 (1"= 1 mile)	105.6	32.2
1:100,000	166.7	50.8
1:250,000	416.7	127.1
1:500,000	833.3	254
1:1,000,000	1666.7	508
1:2,000,000	3333.3	1016

الجدول 1-2 الدقة الموقعية الأفقية (قدم) في مقاييس رسم مختلفة حسب مواصفات NMAS

ويبين الجدول التالي أمثلة من حدود الدقة الموقعية الرأسية في سوية الثقة 90% في فواصل منسوب مختلفة:

فاصل المنسوب (قدم)	الدقة الرأسية في سوية الثقة 90% (قدم)
1.0	0.5
2.0	1.0
5.0	2.5
10.0	5.0
50.0	25.0

الجدول 2-2 الدقة الموقعية الرأسية في فواصل منسوب مختلفة حسب مواصفات NMAS

ما زالت NMAS مستخدمة حتى اليوم، لكنها مواصفات قديمة لا تعكس ما نشهد من تطورات

تقنية، كما أنها محصورة بالخرائط الورقية المطبوعة، ولذلك ظهرت مواصفات قياسية أخرى لتحل محلها يمكن تطبيقها على البيانات المكانية الرقمية وليس على الخرائط المطبوعة فقط.

2.5.2. الجمعية الأمريكية للمساحة التصويرية والاستشعار عن بعد

نشرت الجمعية الأمريكية للمساحة التصويرية والاستشعار عن بعد (American Society for Photogrammetry and Remote Sensing: ASPRS) مواصفات ASPRS القياسية لدقة الخرائط ذات المقياس الكبير (ASPRS Accuracy Standards for Large-Scale Maps) في العام 1990.

طور هذه المواصفات لجنة المواصفات والمعايير في ASPRS بهدف تحديث مواصفات NMAS، ومن المزايا الرئيسية لها أنها تحدد الدقة بقياس المسافات على الأرض وليس على الخريطة كما في NMAS، ما يسمح بربط البيانات المكانية الرقمية بمقياس الرسم المناسب من خلال دقتها الموقعية.

"تتعلق هذه المواصفات بتعريفات الدقة المكانية ذات الصلة بالخرائط الطبوغرافية ذات المقياس الكبير والمعدّة لاستخدامها في أغراض خاصة أو في التطبيقات الهندسية. وتركز هذه المواصفات على وصف الدقة المكانية النهائية التي يمكن استنتاجها من الخريطة بلغة يفهمها عموم المستخدمين". (ASPRS, 1990)

تُعرف دقة الخريطة بقيمة الخطأ متوسط التربيع (root-mean-square error: RMSE) التي تقاس على الأرض بمقارنة الإحداثيات الأفقية (X, Y) أو الرأسية (الارتفاع) التي تُستنتج من الخريطة مع الإحداثيات المناظرة في نقاط التحقق فقط، وهي نقاط واضحة المعالم في المشروع وتقاس بمسح مستقل ذي دقة أعلى.

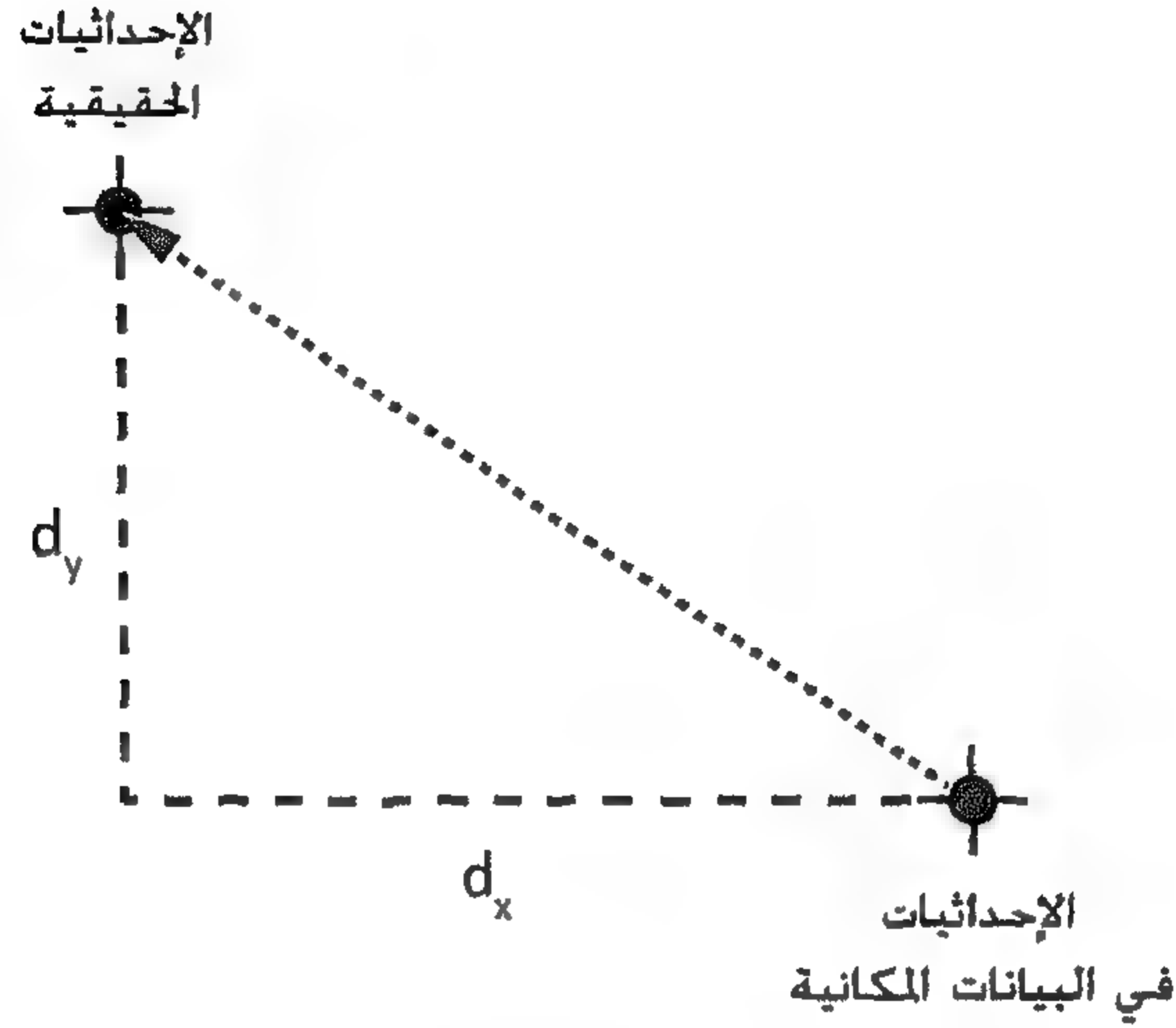
يُعرف الخطأ متوسط التربيع بقيمة الجذر التربيعي لمتوسط مربعات الفروق في الإحداثيات الأفقية باتجاه X أو Y أو الرأسية في اتجاه Z. وتشمل قيمة RMSE تراكم جميع الأخطاء بما في ذلك الأخطاء في نقاط التحكم الأرضي، وأخطاء إنتاج الخريطة واستنتاج الأبعاد على الأرض من القياسات على الخريطة.

تُحسب قيمة RMSE للإحداثيات في الاتجاه X على سبيل المثال بالمعادلة التالية:

$$RMSE_X = \sqrt{\frac{D_x^2}{n}}$$

حيث D_x^2 مربعات الفروق في الإحداثيات في الاتجاه X وتحسب كما يلي:

$$D_x^2 = d_{x1}^2 + d_{x2}^2 + \dots + d_{xn}^2$$



الشكل 2-2 الفروق بين الإحداثيات الأفقية في البيانات المكانية ونقاط التحقق

و d_x الفرق في الإحداثيات في الاتجاه X ويحسب بالمعادلة:

$$d_x = X_{map} - X_{check}$$

و n عدد نقاط التحقق من الإحداثيات في الاتجاه X .

بصورة عامة يمكن عدّ الانحراف المعياري (standard deviation: σ) والخطأ متوسط التربيع مصطلحين مترادفين، حيث يستخدم الأول في علم الإحصاء بينما يستخدم الثاني في نظرية الأخطاء، ولذلك يمكن أن تصادف بعض المواصفات القياسية التي تستخدم مصطلح الانحراف المعياري بدلاً من الخطأ متوسط التربيع.

تختلف متطلبات الدقة حسب فئة الخرائط، فقيمة RMSE القصوى المسموحة في الفئة 2 هي ضعف القيمة القصوى المسموحة في الفئة 1، وتبلغ قيمة RMSE القصوى المسموحة في الفئة 3 ضعف القيمة المسموحة في الفئة 2. يبين الجدول التالي متطلبات دقة الإحداثيات الأفقية (planimetric) (مسافة X أو Y على الأرض بالقدم) للخرائط من الفئة 1:

مقياس الخريطة	الدقة الأفقية (X أو Y) للفئة 1
قيمة RMSE القصوى المسموحة (قدم)	
1:60	0.05
1:120	0.10
1:240	0.20
1:360	0.30
1:480	0.40
1:600	0.50
1:1,200	1.0
1:2,400	2.0
1:4,800	4.0
1:6,000	5.0
1:9,600	8.0
1:12,000	10.0
1:20,000	16.7

الجدول 3-2 متطلبات دقة الإحداثيات الأفقية (قدم) للخرائط من الفئة 1 حسب مواصفات ASPRS

ويبين الجدول التالي متطلبات دقة الإحداثيات الأفقية (بالمتر) للخرائط من الفئة 1 و 2 و 3:

مقياس الخريطة	الدقة الأفقية (X أو Y)		
	للفئة 1	للفئة 2	للفئة 3
قيمة RMSE القصوى المسموحة (متر)			
1:50	0.0125	0.025	0.0375
1:100	0.025	0.05	0.075
1:200	0.05	0.10	0.15
1:500	0.125	0.25	0.375
1:1,000	0.25	0.50	0.75
1:2,000	0.5	1.00	1.50
1:4,000	1.00	2.00	3.00
1:5,000	1.25	2.50	3.75
1:10,000	2.50	5.00	7.50
1:20,000	5.00	10.00	15.00

الجدول 4-2 متطلبات دقة الإحداثيات الأفقية (متر) للخرائط من الفئة 1 و 2 و 3 حسب مواصفات ASPRS

قيمة RMSE القصوى المسموحة في الاتجاه الرأسي في الخرائط من الفئة 1 حسب مواصفات ASPRS هي ثلث قيمة فاصل المنسوب للنقاط واضحة المعالم فقط، أما قيمة RMSE في نقاط الارتفاعات المدققة (spot heights) فتكون سدس فاصل المنسوب فقط. وتشترط مواصفات ASPRS استخدام 20 نقطة تحقق على الأقل، ويتطابق تعريف نقاط التحقق في ASPRS وNMAAS، فهي نقاط من الخريطة واضحة المعالم يمكن رؤيتها والعثور عليها بسهولة على الأرض، وتحدد هذه النقاط وتكون موزعة بصورة مناسبة في منطقة المشروع بالاتفاق بين الأطراف.

"يمكن تجميع الخريطة من بيانات متوافقة مع متطلبات الدقة الأفقية لفئة ما ومتطلبات الدقة الرأسية لفئة أخرى. ويسمح أيضاً باستخدام مستويات دقة أفقية متعددة على ذات الخريطة بشرط تضمينها رسماً تخطيطياً يوضح المناطق من الخريطة التي تتوافق مع متطلبات الدقة لكل فئة من الفئات". (ASPRS, 1990)

يكون التنويه إلى مطابقة الخرائط لمعايير تقييم الدقة بموجب عبارة مطابقة، بدلاً من قيمة دقة رقمية، كما في الأمثلة التالية:

- تم إعداد هذه الخريطة بحيث تطابق مواصفات ASPRS لدقة الخرائط من الفئة 1.
 - تم فحص هذه الخريطة ووجدت أنها تطابق مواصفات ASPRS لدقة الخرائط من الفئة 2.
- توقفت ASPRS عن صيانة أو تطوير هذه المواصفات القياسية، وشاركت في تطوير مواصفات NSSDA القياسية التي اعتمدتها اللجنة الاتحادية للبيانات الجغرافية.

2.5.3. اللجنة الاتحادية للبيانات الجغرافية

اللجنة الاتحادية للبيانات الجغرافية (Federal Geographic Data

Committee: FGDC) هي لجنة حكومية أمريكية تعمل على تنسيق

الأنشطة الحكومية ذات الصلة بإعداد البيانات الجغرافية وتعمل على تشجيع

استخدامها ومشاركتها على الصعيد الوطني، وتتألف من 19 عضواً يمثلون

المكتب التنفيذي للرئيس، ومجلس الوزراء والهيئات الاتحادية.

يعرف برنامج البيانات الوطنية هذا باسم البنية التحتية للبيانات المكانية الوطنية (National

Spatial Data Infrastructure: NSDI)، وهو شبكة تنظيمية تربط جهات مختلفة وتهدف إلى

تعزيز تطوير الموارد الجغرافية الرقمية ومشاركتها.

طورت FGDC مجموعة من المواصفات القياسية ذات الصلة بالدقة الموقعية بعنوان "المواصفات



القياسية لدقة تحديد الموقع " (Geospatial Positioning Accuracy Standards) في خمسة أجزاء هي:

- منهجية إعداد التقارير (Reporting Methodology)
- المواصفات القياسية للشبكة الجيوديسية (Standards for Geodetic Networks) التي سنناقشها لاحقاً (انظر 3.6.1 المواصفات القياسية للشبكة الجيوديسية).
- المواصفات الوطنية لدقة البيانات المكانية (National Standard for Spatial Data Accuracy: NSSDA) وهي المواصفات التي حلت محل مواصفات ASPRS.
- المواصفات القياسية للعمارة والهندسة والإنشاء وإدارة المرافق (Standards for Architecture, Engineering, Construction (A/E/C) and Facility Management)
- المواصفات القياسية للمسوح الهيدروغرافية المتعلقة بالخرائط الملاحية (Standards for Nautical Charting Hydrographic Surveys)

"تنطبق NSSDA على الخرائط والبيانات المكانية الرقمية المسندة جغرافياً بالكامل، سواء أكانت في هيئة متسامتة، أو نقاط، أو هيئة متجهة، والمستمدة من مصادر مثل الصور الجوية وصور الأقمار الاصطناعية، وأعمال المساحة الأرضية. وتوفر لغة مشتركة لتقديم التقارير عن الدقة لتسهيل التعرف على البيانات المكانية في التطبيقات الجغرافية". (FGDC, 1998)

تستخدم NSSDA التي نُشرت في العام 1998 الخطأ متوسط التربيع (RMSE) لتقدير الدقة الموقعية، كما في مواصفات ASPRS، وتشرح المنهجية المستخدمة في تقدير الدقة، لكنها تختلف عن مواصفات ASPRS بما يلي:

- لا تحدد NSSDA القيمة الدنيا المقبولة بل تترك مهمة ذلك إلى منتجي ومستخدمي البيانات لتحديد ذلك حسب الاحتياجات والهدف من استخدام البيانات المكانية.
- الدقة الأفقية النهائية في NSSDA لا تُقيّم في تقريرين منفصلين؛ أي باتجاهي X و Y على حدة، كما في ASPRS، بل تُقرر الدقة بقيمة واحدة.
- تحدد NSDDA الدقة في سوية الثقة 95%.

تُحدد الدقة في NSSDA بالمسافات المقاسة على الأرض في سوية الثقة 95% باختبار 20 نقطة على الأقل. الدقة في سوية الثقة 95% تعني أن 95% من المواقع في مجموعة البيانات ستعاني من خطأ يساوي أو أصغر من القيمة المحددة مقارنة بالموقع الصحيح على الأرض، وعند اختبار 20

نقطة تسمح سوية الدقة 95% طبقاً لهذه المواصفات لنقطة واحدة فقط بالإخفاق في تلبية مستوى الدقة المحدد في المنتج.

وكما في مواصفات ASPRS تعكس قيمة الدقة جميع أوجه عدم اليقين، بما في ذلك بما في ذلك الأخطاء الناتجة من نقاط التحكم الأرضي، وإنتاج الخريطة، واستنتاج الأبعاد على الأرض من القياسات في المنتج.

يمكن تعريف الخطأ الأفقي $RMSE_r$ بالمعادلة التالية:

$$RMSE_r = \sqrt{RMSE_x^2 + RMSE_y^2}$$

عندما تكون الأخطاء دائرية؛ أي عندما تكون قيمة $RMSE$ متساوية في اتجاهي X و Y يحسب الخطأ الأفقي كما يلي:

$$RMSE_r = \sqrt{2 \times RMSE_x^2} = \sqrt{2 \times RMSE_y^2}$$

وبالتالي يمكن حساب الخطأ الأفقي من المعادلة:

$$RMSE_r = 1.4142 \times RMSE_x = 1.4142 \times RMSE_y$$

لحساب الدقة الأفقية $Accuracy_r$ في سوية الثقة 95% انطلاقاً من الخطأ الأفقي $RMSE_r$ ، يمكن طبقاً لهذه المواصفة استخدام العامل 2.4477 كما يلي:

$$Accuracy_r = 2.4477 \times RMSE_x = 2.4477 \times RMSE_y$$

وبفرض أن الأخطاء دائرية يمكن تعويض قيمة $RMSE_x$ أو $RMSE_y$ من المعادلة السابقة:

$$Accuracy_r = \frac{2.4477 \times RMSE_r}{1.4142}$$

أي تكون قيمة الدقة الأفقية في سوية الثقة 95% طبقاً لهذه المواصفة القياسية:

$$Accuracy_r = 1.7308 \times RMSE_r$$

وللمقارنة مع مواصفات NMAS يمكن حساب الدقة الأفقية في سوية الثقة 90% عندما تكون الأخطاء دائرية باستخدام العامل 2.146 كما يلي:

$$Accuracy_r = \frac{2.146 \times RMSE_r}{1.4142}$$

أي:

$$Accuracy_r = 1.5175 \times RMSE_r$$

وإذا لم تكن الأخطاء دائرية وكانت نسبة $RMSE_{min}/RMSE_{max}$ بين 0.6 و 1.0 (حيث $RMSE_{min}$ أصغر قيمتي الخطأين الأفقيين $RMSE_x$ و $RMSE_y$ و $RMSE_{max}$ أكبرهما) تُحسب قيمة الدقة الأفقية في سوية الثقة 95% بالمعادلة التالية:

$$Accuracy_r = 2.4477 \times 0.5 \times (RMSE_x + RMSE_y)$$

لحساب الدقة الرأسية $Accuracy_z$ في سوية الثقة 95% انطلاقاً من الخطأ الرأسي $RMSE_z$ ، يمكن استخدام العامل 1.96:

$$Accuracy_z = 1.96 \times RMSE_z$$

وفي سوية الثقة 90% يمكن استخدام العامل 1.6449 كما يلي:

$$Accuracy_z = 1.6449 \times RMSE_z$$

عندما تتضمن مجموعة البيانات موضوعات أو مناطق جغرافية في مستويات مختلفة من الدقة، تُستخدم المبادئ التوجيهية التالية لتقديم التقارير عن دقة مجموعة البيانات المركبة:

- إذا أمكن تمييز الدقة المتفاوتة بصورة منفصلة في مجموعة بيانات، تحسب قيم الدقة وتُعد التقارير لكل بيانات على حدة.
- عندما تكون البيانات مركبة بصورة لا يمكن معها تمييز مستويات الدقة المتفاوتة، تحسب قيم الدقة لمجموعة البيانات معاً.
- عندما لا تُختبر مجموعة البيانات تُعدّ دقتها مساوية لأقل مكوناتها دقة.

عندما تكون البيانات المكانية رقمية يُبلغ عن الدقة في ما وراء البيانات (metadata)، وعندما

تكون خريطة مطبوعة تُقرّر الدقة على الخريطة بموجب عبارة مطابقة.

تحدد قيمة الدقة بصورة منسجمة مع البيانات، فتستخدم الوحدات المترية أو القدم طبقاً لوحدة القياس المستخدمة في البيانات المكانية، كما يُحدد عدد المنازل العشرية في قيمة الدقة بناءً على عدد المنازل العشرية في قيم الإحداثيات في البيانات.

تُقرّر الدقة في سوية الثقة 95% للبيانات التي تُختبر دقتها الأفقية والرأسية على النحو التالي:

"تم اختبار دقة أفقية (متر/قدم) في سوية الثقة 95%"

"تم اختبار دقة رأسية (متر/قدم) في سوية الثقة 95%"

وإذا تعذر اختبار دقة البيانات بالاعتماد على مصدر ذي دقة أعلى حسب المبادئ التوجيهية السابقة، واستخدمت طريقة أخرى، تُقرّر الدقة في سوية الثقة 95% للبيانات على النحو التالي:

"أنتجت (هذه البيانات/الخريطة) لتوافق دقة أفقية (متر/قدم) في سوية الثقة 95%"

"أنتجت (هذه البيانات/الخريطة) لتوافق دقة رأسية (متر/قدم) في سوية الثقة 95%"

2.5.4. اللجنة الحكومية للمساحة وإعداد الخرائط

طورت اللجنة الدائمة للمعلومات الطبوغرافية في اللجنة الحكومية

للمساحة وإعداد الخرائط (Intergovernmental Committee on)

للدقة الأفقية في الخرائط والبيانات المكانية (Surveying and Mapping: ICSM)

للدقة الأفقية في الخرائط والبيانات المكانية (Australian Map and)

مواصفات أسترالية قديمة ترقى للعامين 1953 و1975.



"تسمح هذه المواصفة القياسية لمستخدمي الخرائط والبيانات المكانية التي تتوافق مع المواصفة بالحكم على ما إذا كانت تلك الخرائط والبيانات دقيقة بالقدر الذي تتطلبه التطبيقات التي يعملون عليها"، و"تعتمد في أجزاء منها على المواصفات الوطنية لدقة البيانات المكانية الصادرة عن اللجنة الاتحادية للبيانات الجغرافية في العام 1998". (ICSM, 2009)

عندما لا تتحقق المتطلبات المحددة في هذه المواصفة، فإنها توصي بتوفير معلومات تسمح للمستخدم بتقييم مدى ملائمة البيانات للتطبيقات التي يعمل عليها، وتشمل هذه المعلومات:

- المادة الأصلية التي تم إنتاج البيانات منها
 - دقة الأعمال المساحية الأرضية ذات الصلة بإنتاج هذه البيانات
 - إجراءات التقييم (digitizing)
 - المعدات
 - إجراءات ضبط الجودة المستخدمة في إنتاج البيانات.
- وكما في NSSDA يمكن تعريف الخطأ الأفقي $RMSE_r$ بالمعادلة التالية:

$$RMSE_r = \sqrt{RMSE_E^2 + RMSE_N^2}$$

حيث $RMSE_E$ و $RMSE_N$ الأخطاء في اتجاهي X و Y على الترتيب.
وعندما تكون الأخطاء دائرية يمكن حساب الخطأ الأفقي من المعادلة:

$$RMSE_r = 1.4142 \times RMSE_E = 1.4142 \times RMSE_N$$

وفي هذه الحالة يمكن حساب الدقة الأفقية $Accuracy_r$ في سوية الثقة 95% انطلاقاً من الخطأ الأفقي $RMSE_r$ كما يلي:

$$95\% Accuracy_r = 1.7308 \times RMSE_r$$

نظام الإحداثيات المرجعي

يُقال نظام الإحداثيات المرجعي من نظام إحداثيات ومرجع يمنحه صلة بالأرض، وتكون العمليات الحسابية المخطوطة بقياس المسافات والمساحات والانحافات سهلة التنفيذ. وحالية من الأخطاء عندما نسب المواقع على سطح الأرض إلى نظام الإحداثيات المرجعي.

ساقش في هذا الفصل:

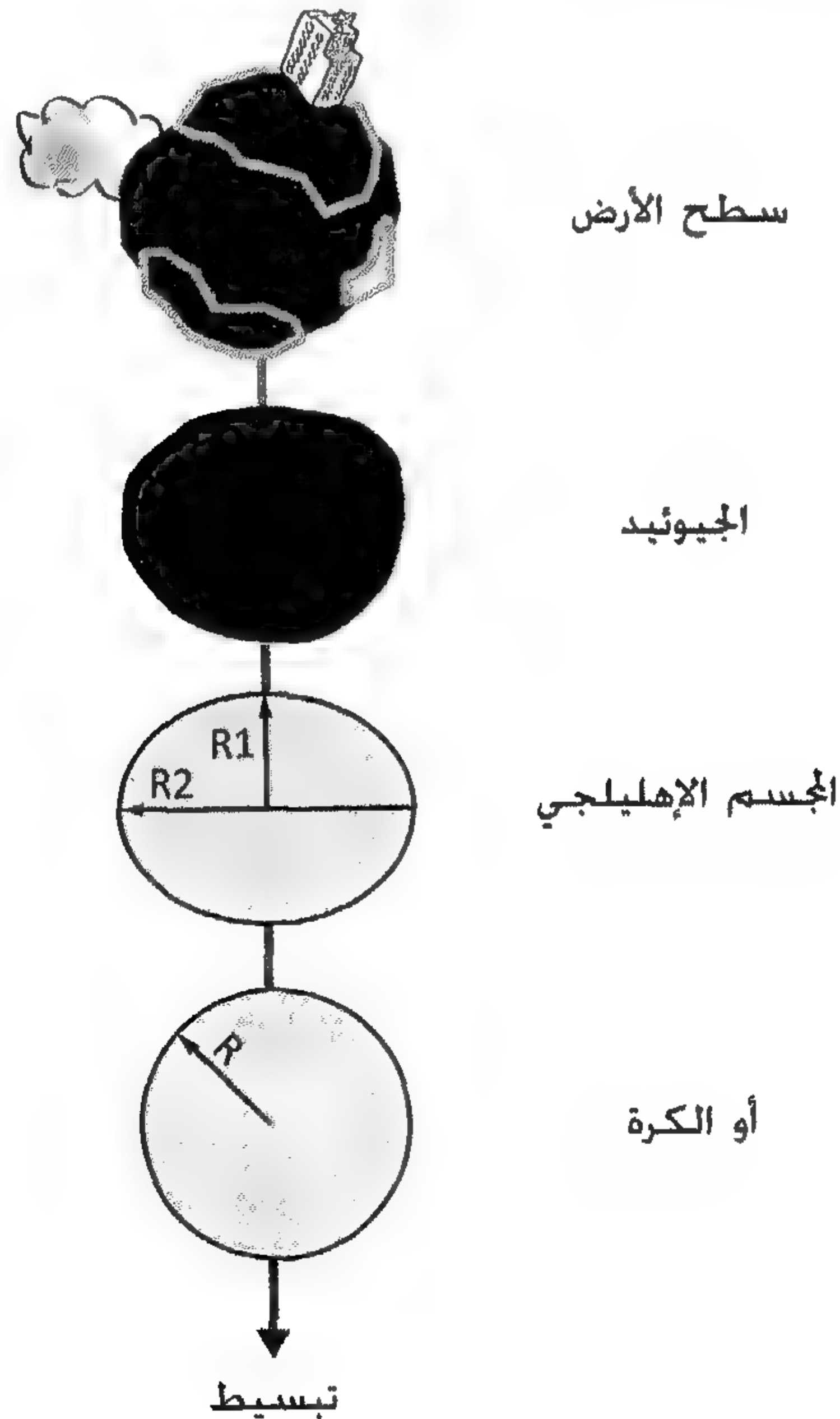
- فشل شكل الأرض رياطياً
- أنواع أنظمة الإحداثيات والمراجع
- النظام المرجعي للإحداثيات بأقواعها: الجغرافية، وأرضية المركز، والرأسية، والمركبة
- الارتفاعات والأعماق ومنوسط مسوب البحر
- الجيونيد
- الشبكة الجيوديسية الوطنية
- النظام المرجعي للإحداثيات في برامج نظام المعلومات الجغرافية

3. نظام الإحداثيات المرجعي

3.1. تمثيل شكل الأرض رياضياً

تبين الصور الملتقطة من سطح القمر ومن الأقمار الاصطناعية كروية الأرض، ولكن هذا الشكل ليس كرة تامة، إذ ليس لها قطر ثابت، وتتميز بالتفلطح وعدم الانتظام، فهي إذاً أشبه بثمررة البطاطا الملساء التي لا تخلو من التواءات والتجاويف.

كيف يمكننا إذاً قياس المسافات والمساحات والاتجاهات على سطح هذا الشكل غير المنتظم، وما هو نظام الإحداثيات المرجعي التي يمكننا أن ننسب إليه المعالم على سطح الأرض أو بالقرب منه بحيث تكون العمليات الحسابية المطلوبة لقياس المسافات والمساحات والاتجاهات سهلة التنفيذ؟ كيف يمكن بعد ذلك رسم المعالم الجغرافية على سطح مستو؟

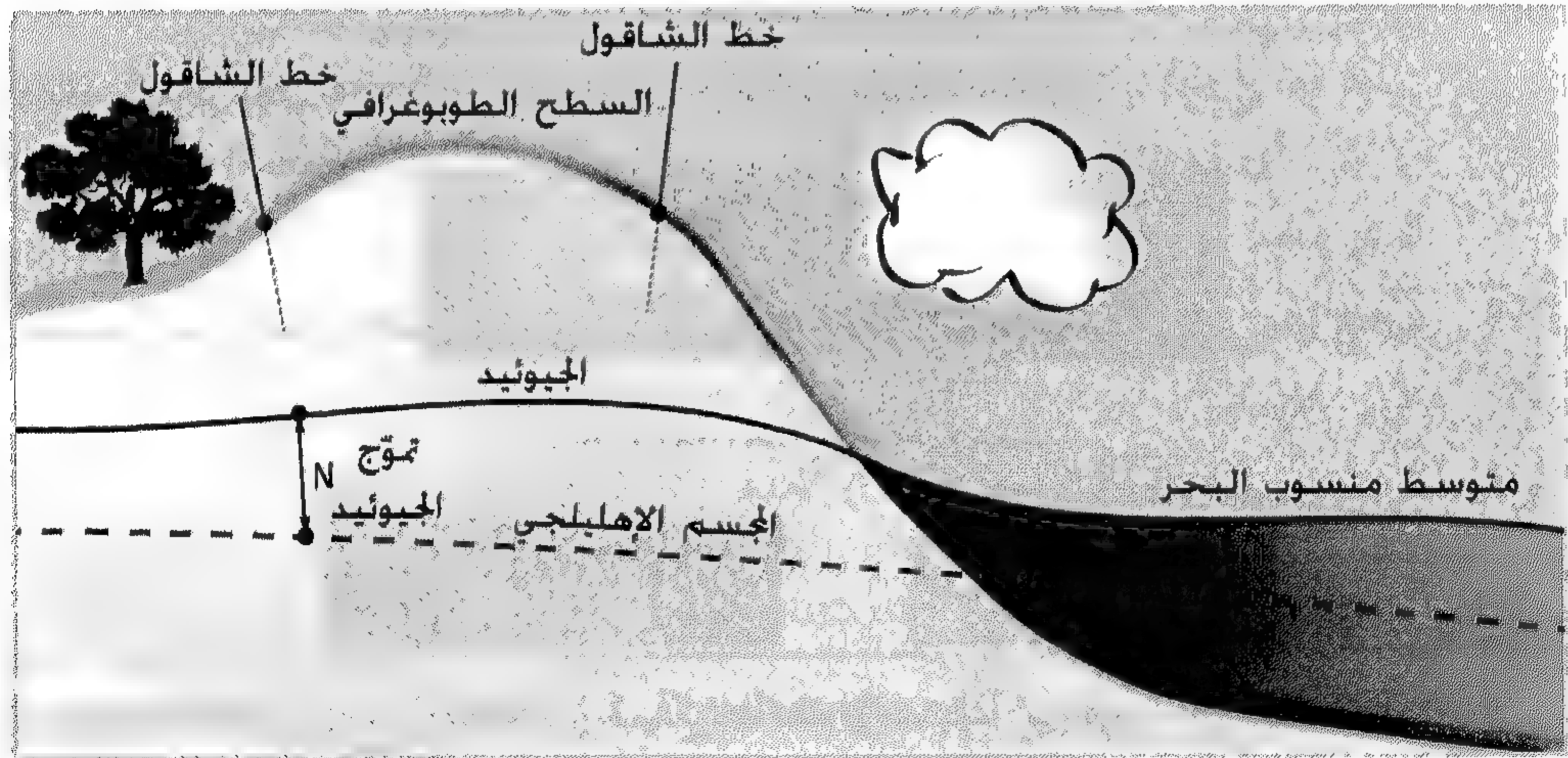


الشكل 3-1 التدرج في تبسيط شكل الأرض

الخطوة الأولى من عملية التبسيط هي إزالة جميع تضاريس سطح الأرض، وتحديد شكل الأرض عند متوسط منسوب البحر (mean sea level: MSL). يسمى شكل الأرض عند متوسط منسوب البحر (تقريباً) **المجسم الأرضي** أو **الجيوئيد** (geoid)، الذي سنتعرف إلى تفاصيله لاحقاً، وهو شكل غير منتظم نظراً لأن كتلة الأرض وبالتالي جاذبية الأرض غير موزعة بالتساوي.

من الواضح أن الجيوئيد لا ينطبق على **السطح الطبوغرافي** (topographic surface)، أي سطح قشرة الأرض، بل يمكن أن يمر من تحت ذلك السطح الطبوغرافي أو فوقه حسب تضاريس كل منطقة، ويمكننا أن نرى سطح الجيوئيد في اليابسة عندما نشق فيها قناة مائية متصلة بالبحر. هذا يعني أن اليابسة تتطابق مع الجيوئيد إذا تم تعريتها وتسويتها تماماً مع متوسط منسوب البحر، ولذلك يتخذ سطح الجيوئيد في الأعمال المساحية مرجعاً رأسياً لقياس الارتفاعات.

وبمجرد أن نتوصل إلى تحديد الجيوئيد، يمكننا إنشاء **المجسم الإهليلجي** (ellipsoid)، وهو شكل ناتج من تدوير القطع الناقص حول محوره الصغير الذي يصل بين القطبين، بحيث يطابق شكل الجيوئيد أفضل مطابقة، تبسط هذه الخطوة العمليات الحسابية المشار إليها أعلاه بصورة كبيرة، لكن **المجسم الإهليلجي** لن ينطبق مع سطح الجيوئيد مهما حاولنا ذلك، فالجيوئيد سطح غير منتظم بينما **المجسم الإهليلجي** سطح منتظم يمكن تمثيله بمعادلة رياضية، ويسمى الفرق بينهما **تموج الجيوئيد** (انظر 3.4.4.2 تموج الجيوئيد).



الشكل 2-3 علاقة الجيوئيد بالسطح الطبوغرافي للأرض والمجسم الإهليلجي

يمكننا أن نذهب في عملية التبسيط إلى أبعد من ذلك من خلال إنشاء كرة (sphere) ينطبق مثلاً مركزها مع مركز **المجسم الإهليلجي** ولها ذات حجمه، ما يجعل العمليات الحسابية الخاصة

بالمسافة والمساحة والاتجاه أكثر بساطة. لكن الكرة لا تحاكي شكل الجيوييد كما المحسّم الإهليلجي، ولذلك تستخدم في حالات محدودة.

بعد الحصول على هذا الشكل الرياضي المنتظم، أي المحسّم الإهليلجي أو الكرة، يمكننا إسقاط (projection) المعالم الجغرافية منه على سطح مستو للحصول على الخريطة (map).

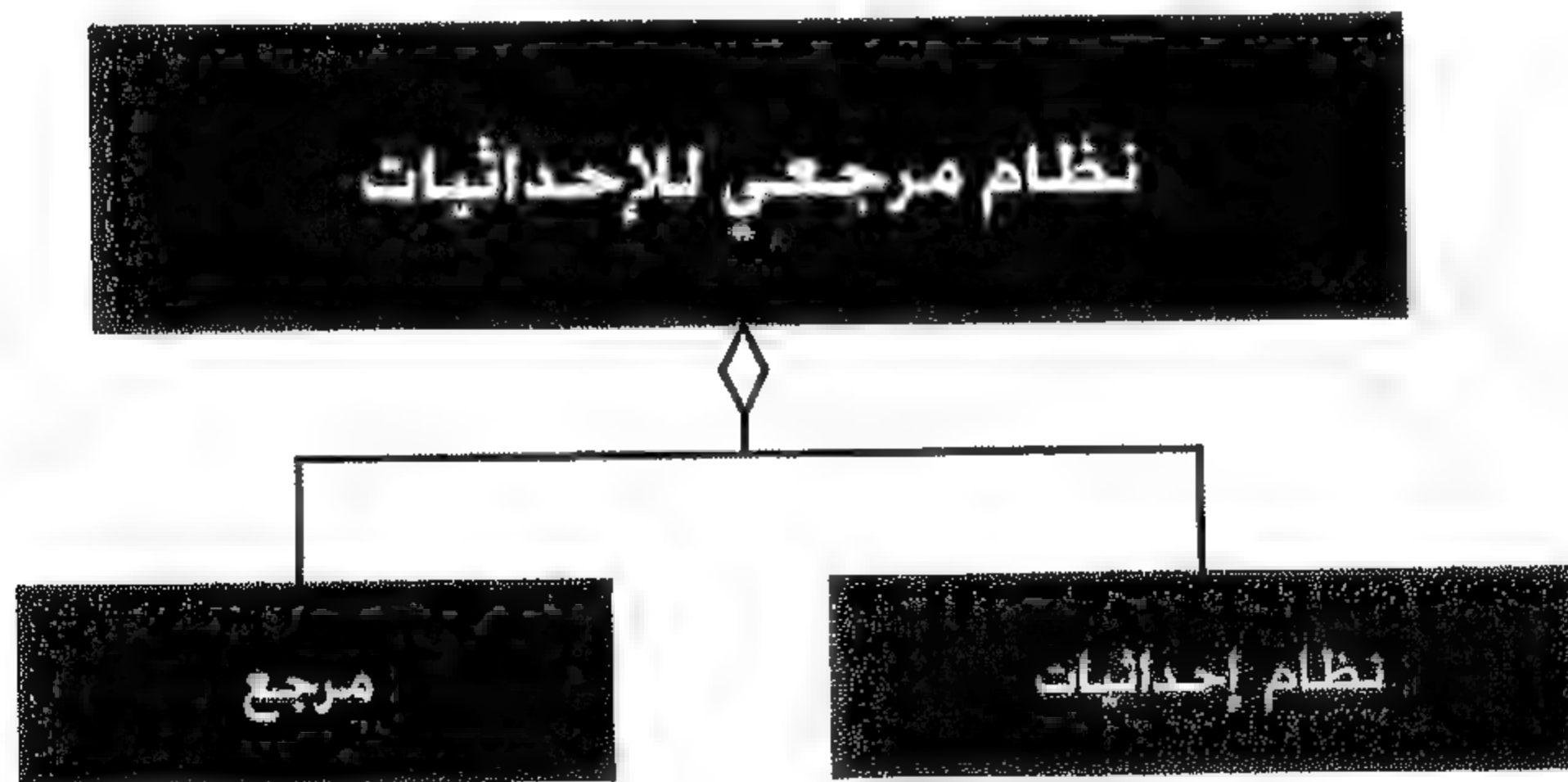
عرف العرب كروية الأرض منذ زمن بعيد، وقاسوا المسافات والاتجاهات بين المدن والأمصار كما حددوا اتجاه القبلة بحساب المثلثات الكروية ما يدل على اعتقادهم الجازم بكروية الأرض. ويقول ابن خردزابة (820 - 912 م) في كتاب المسالك والممالك:

"صفة الأرض أنها مدورة كتدوير الكرة، موضوعة في جوف الفلك كاللحّة في جوف البيضة".



3.2. نظام الإحداثيات المرجعي

كما مر معنا في فصل المواصفات القياسية، يتألف نظام الإحداثيات المرجعي (coordinate reference system: CRS) من نظام إحداثيات ومرجع يمنحه صلة بالأرض:



الشكل 3-3 مكونات نظام الإحداثيات المرجعي

تعتمد طبيعة نظام الإحداثيات المرجعي على طبيعة المكونات الداخلة في تركيبه. فالنظام المرجعي للإحداثيات الراسية مثلاً يتألف من مرجع رأسي ونظام إحداثيات رأسية، والنظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية يتألف من مرجع جيوديسي ونظام إحداثيات جيوديسية، وهكذا.

3.2.1. أنواع أنظمة الإحداثيات

- نظام إحداثيات جيوديسية (geodetic coordinate system) أو نظام إحداثيات إهليلجية (ellipsoidal coordinate system): نظام إحداثيات ثنائي أو ثلاثي الأبعاد يُحدّد فيه الموقع من خلال خط العرض الجيوديسي (أو خط العرض الإهليلجي) وخط الطول الجيوديسي (أو خط الطول الإهليلجي)، وعندما يكون النظام ثلاثي الأبعاد يضاف إليهما الارتفاع الجيوديسي (أو الارتفاع الإهليلجي).
- نظام إحداثيات ديكارتية (cartesian coordinate system): نظام إحداثيات يسند مواقع النقاط إلى محور مستقيم وحيد عندما يكون أحادي البعد، وإلى محورين أو ثلاثة عندما يكون ثنائي وثلاثي الأبعاد، وفي الحالتين الأخيرتين تكون المحاور متعامدة ولها وحدة القياس ذاتها.
- نظام إحداثيات معتمدة على الجاذبية (gravity-related coordinate system) أو نظام إحداثيات رأسية (vertical coordinate system): نظام إحداثيات أحادي البعد يعتمد على حقل جاذبية الأرض ويستخدم لتسجيل ارتفاع (أو عمق) النقاط.

3.2.2. أنواع المراجع

- مرجع جيوديسي (geodetic datum): يعرف صلة النظام المرجعي للإحداثيات (الجغرافية وأرضية المركز) بالأرض. يُعرف المرجع باسمه وبالنموذج المستخدم فيه لتمثيل الأرض؛ أي المحسّم الإهليلجي (أو الكرة في حالة التقريب الثاني)؛ وخط الزوال الرئيسي الذي يكون مبدأ لخطوط الطول، ووحدة القياس.
- مرجع رأسي (vertical datum): يعرف الصلة بين الأرض ونظام الإحداثيات المعتمدة على الجاذبية.
- مرجع زمني (temporal datum): يحدد مبدأ النظام المرجعي الزمني.

3.2.3. أنواع نظام الإحداثيات المرجعي

- يتألف النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية (geographic coordinate reference system) من مرجع جيوديسي ونظام إحداثيات جيوديسية.
- يتألف النظام المرجعي للإحداثيات أرضية المركز (geocentric coordinate reference system) من مرجع جيوديسي أيضاً، ولكنه يعالج انحناء الأرض من خلال معاينة ثلاثية الأبعاد باستخدام نظام إحداثيات ديكارتية يقع مبدؤه في مركز كتلة الأرض.

- يتشابه النظامان السابقان باعتمادهما على مرجع جيوديسي، وإن كانا يعالجان الإحداثيات بطريقتين مختلفتين، ولذلك يمكن تسمية كلا النظامين النظام المرجعي للإحداثيات الجيوديسية (geodetic coordinate reference system).
- يعتمد النظام المرجعي للإحداثيات المُسقطة (projected coordinate reference system) على نظام مرجعي للإحداثيات الجغرافية ويستخدم أساليب إسقاط الخريطة لتغيير الإحداثيات على مستو.

تسمى الإحداثيات المسقطة أيضاً الإحداثيات التربيعية (grid coordinates) أو الإحداثيات المستوية (plane coordinates) أو إحداثيات الخريطة (map coordinates).



- يستخدم النظام المرجعي للإحداثيات الرأسية (vertical coordinate reference system) لتسجيل ارتفاع أو عمق النقاط.
- يستخدم النظام المرجعي للإحداثيات الزمانية (temporal coordinate reference system) لتسجيل الوقت بالاعتماد على مرجع زمني.
- يصف النظام المرجعي للإحداثيات المركبة (compound coordinate reference system) موقع النقاط أفقياً باستخدام نظام إحداثيات مرجعي، ورأسياً من خلال نظام إحداثيات مرجعي آخر، ويمكن إضافة البعد الرابع من خلال نظام مرجعي ثالث للإحداثيات الزمانية.
- يوفر النظام المرجعي للإحداثيات الهندسية (engineering coordinate reference system) السهولة في تحديد المواقع. تكون هذه الإحداثيات دقيقة ولكنها محلية أي منسوبة إلى نقطة ذات معنى في منطقة الدراسة، مثل ركن مبنى. ليس لهذه الإحداثيات أي علاقة بالأمكان البعيدة عن منطقة الدراسة أو الإحداثيات المقيسة في ذات المنطقة في وقت آخر. يستخدم النظام المرجعي للإحداثيات الهندسية في البيانات المكانية غير المُسندة جغرافياً، مثل رسوم التصميم بالحاسوب (CAD) عندما لا يكون لموقع التصميم أهمية، وفي بعض الأعمال المساحية التي تُرصد فيها النقاط انطلاقاً من نقطة محلية، وفي البيانات المتسامية التي تقاس إحداثياتها انطلاقاً من الزاوية العليا اليسرى للصورة.

3.3. الأنظمة المرجعية للإحداثيات الجيوديسية

ثمة نوعان من الأنظمة المرجعية للإحداثيات التي تعتمد على المراجع الجيوديسية:

- النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية: يستخدم مرجعاً جيوديسياً ونظام إحداثيات جيوديسية ويعبر فيه عن إحداثيات النقاط بزاويتي العرض والطول والارتفاع الجيوديسية (أو الإهليلجية).
- النظام المرجعي للإحداثيات أرضية المركز: يستخدم مرجعاً جيوديسياً ونظام إحداثيات ديكارتية ثلاثي المحاور ويعبر فيه عن إحداثيات النقاط بالإحداثيات X و Y و Z أرضية المركز.

ومن المهم معرفة المرجع الجيوديسي المستخدم في الأنظمة المرجعية للإحداثيات التي تعتمد مرجعاً جيوديسياً، لأن قيم إحداثيات نقطة ما تختلف باختلاف المرجع المستخدم، نظراً لعدم انطباق مراكز ومحاور المراجع الجيوديسية واختلاف أقطارها. هذا يعني أن اختلاف قيم الإحداثيات لنقطة بين خريطتين لا يعود بالضرورة إلى وجود أخطاء بل يرجع إلى سبب آخر هو قياس إحداثياتها بالنسبة إلى مراجع جيوديسية مختلفة يؤدي كل منها غرضاً محدداً.

3.3.1. المرجع الجيوديسي

يحدد المرجع الجيوديسي (geodetic datum) صلة نظام الإحداثيات المرجعي بالأرض، عندما تكون الإحداثيات جغرافية أو أرضية المركز. يُعرّف المرجع الجيوديسي باسمه وبالنموذج المستخدم فيه لتمثيل الأرض أي المجسم الإهليلجي (أو المجسم الإهليلجي المقرب إلى كرة) ونخط الزوال الرئيسي الذي يكون مبدأ لخطوط الطول، ووحدة القياس.



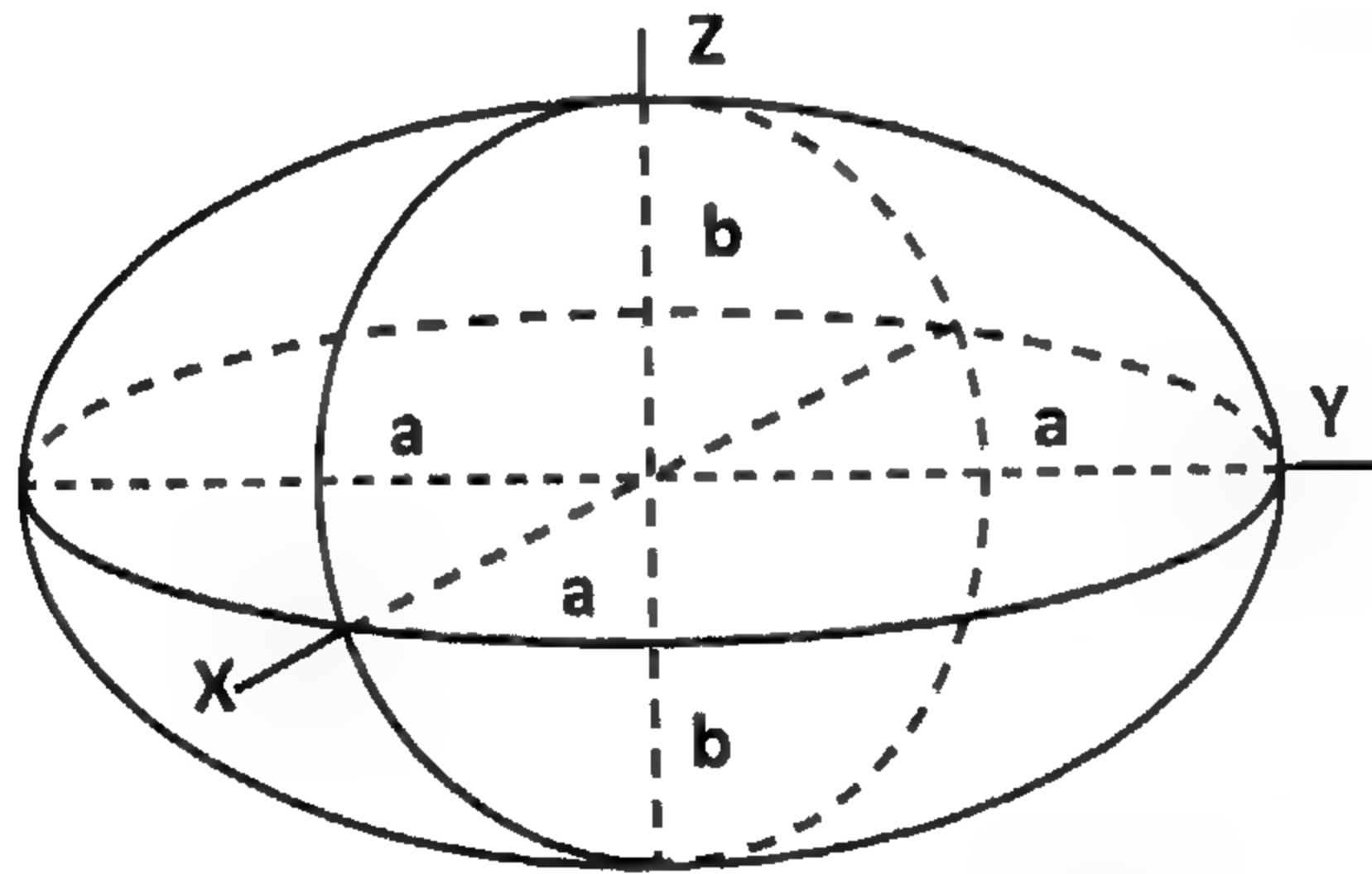
الشكل 3-4 مكونات المرجع الجيوديسي

لا يكفي الجسم الإهليلجي إذاً لتعريف الإحداثيات تعريفاً فريداً، بل يتطلب ذلك اختيار العلاقة بين مركزه ومركز الأرض من جهة، وتعريف مبدأ القياس على سطح الجسم الإهليلجي من جهة أخرى. ويمكننا النظر إلى المرجع الجيوديسي على أنه مجموع هذه الإعدادات معاً.

3.3.1.1. الجسم الإهليلجي

المجسم الإهليلجي (ellipsoid) هو سطح قريب من شكل الجيوئيد، ناتج من تدوير القطع الناقص حول محوره الصغير (محور دوران الأرض) الذي يصل بين القطبين، بحيث يطابق شكل الجيوئيد أفضل مطابقة. ونظراً لبساطته، يستخدم الجسم الإهليلجي في تنفيذ قياسات الشبكة الجيوديسية وتعريف الإحداثيات.

يسمى الجسم الإهليلجي أيضاً المجسم الإهليلجي الدوراني (ellipsoid of rotation) نظراً لأنه ناتج من تدوير القطع الناقص حول محوره الصغير (القطبي) وبالتالي يتساوى طولاً اثنين من أقطاره الثلاثة، تمييزاً عن الجسم الإهليلجي ثلاثي المحاور (tri-axial ellipsoid) الذي يكون له ثلاثة أقطار مختلفة، ويسمى أيضاً المجسم الإهليلجي المفلطح (oblate ellipsoid)، كما يسمى المجسم الكروي (spheroid) لأنه شبيه بالكرة (sphere). وعلى الرغم من أن كلمة spheroid هي أقرب ما تكون إلى تاريخ الرياضيات، تستخدم هذه الكلمة في صيغة النص المعروف (WKT) بدلاً من ellipsoid.



الشكل 3-5 المجسم الإهليلجي الدوراني

وإذا كان الجسم الإهليلجي أقرب ما يكون لشكل الأرض؟ فما هي أبعاده؟

يتحدد شكل الجسم الإهليلجي الدوراني المفلطح بواسطة وسطاء (parameters) القطع الناقص الذي يولد هذا الجسم الإهليلجي عند تدويره. يمثل نصف القطر الكبير a من القطع الناقص

نصف القطر الاستوائي في المحسّم الإهليلجي، ونصف المحور الصغير من القطع الناقص المسافة إلى القطب من مركز المحسّم. ومع أن هاتين القيمتين كافيتان لتمثيل المحسّم الإهليلجي، يمكن تعريف المحسّم الإهليلجي بطرق أخرى تؤول كلها إلى نصفي القطرين، مثل نصف القطر الكبير a ومقلوب التفلطح $1/f$ ، حيث التفلطح f نسبة نصف القطر القطبي إلى نصف القطر الاستوائي:

$$f = \frac{a - b}{a}$$

المثال التالي يصف المحسّم الإهليلجي WGS 84 بصيغة النص المعروف (WKT) باستخدام نصف القطر الكبير ومقلوب التفلطح:

```
SPHEROID["WGS 84",6378137,298.257223563]
```

..... ORACLE[®]
SPATIAL

توفر معلومات المحسّمات الإهليلجية في Spatial Oracle في الجدول MDSYS.SDO_ELLIPSOIDS. المثال التالي يوضح بعض معلومات المحسّم الإهليلجي WGS 84:

```
SQL> SELECT ELLIPSOID_ID, SEMI_MAJOR_AXIS, INV_FLATTENING FROM  
MDSYS.SDO_ELLIPSOIDS WHERE ELLIPSOID_NAME = 'WGS 84' AND IS_LEGACY = 'FALSE';
```

```
ELLIPSOID_ID SEMI_MAJOR_AXIS INV_FLATTENING
```

```
-----  
7030 6378137 298.257224
```

تقوم الجهات العلمية المتخصصة بحساب نصفي القطرين الكبير والصغير بإجراء مجموعة واسعة من القياسات على مساحة شاسعة من الأرض. وقد تم اقتراح عدد كبير من المحسّمات الإهليلجية بأحجام ومراكز مختلفة بالنسبة لمركز كتلة الأرض، بعضها يطابق سطح الجيويدي في منطقة محدودة، أما المحسّمات الإهليلجية الحديثة بعد ظهور نظام الملاحة بالأقمار الاصطناعية فينطبق مركزها مع المركز الفعلي لكتلة الأرض، ويطابق سطحها سطح الجيويدي على مستوى العالم.

وفيما يلي جدول بنماذج المحسّمات الإهليلجية، بعضها كان له دور بارز في تاريخ الأعمال الجيوديسية، وأخرى حديثة ما تزال قيد الاستخدام، مرتبة حسب تاريخ ظهورها مع رمز EPSG:

رمز EPSG	الاستخدام	مقلوب التفلطح 1/f	نصف القطر القطبي (م)	نصف القطر الاستوائي (م)	المجسم الإهليلجي
7027	فرنسا	308.64	6,355,862.9333	6,376,523.0	Plessis (1817)
7042	الهند	300.80172554	6,356,098.359	6,377,299.365	Everest (1830)
7016	بروناي وشرق ماليزيا	300.8017	6,356,097.550	6,377,298.556	Everest 1830 (1967 Definition)
7001	بريطانيا	299.3249646	6,356,256.909	6,377,563.396	Airy (1830)
7004	أوروبا واليابان	299.1528128	6,356,078.963	6,377,397.155	Bessel (1841)
7008	أمريكا الشمالية	294.9786982	6,356,583.8	6,378,206.4	Clarke (1866)
7034	فرنسا وأفريقيا	293.465	6,356,514.870	6,378,249.145	Clarke (1880)
7020		298.3	6,356,818.17	6,378,200	Helmert (1906)
7022	أوروبا	297	6,356,911.946	6,378,388	International (1924)
7024	الاتحاد السوفياتي	298.3	6,356,863.019	6,378,245	Krassowsky (1940)
7003	أستراليا	298.25	6,356,774.719	6,378,160	Australian National (1966)
7036		298.247167427	6,356,774.516	6,378,160	GRS-67 (1967)
7043	الولايات المتحدة (وزارة الدفاع)	298.26	6,356,750.52	6,378,135	WGS-72 (1972)
7019	ITRS	298.257222101	6,356,752.3141	6,378,137	GRS-80 (1979)
7030	العالم (GPS)	298.257223563	6,356,752.3142	6,378,137	WGS 84 (1984)
7054	العالم (GLONASS)	298.257839303	6,356,751.3617	6,378,136	PZ-90 (1990)

الجدول 1-3 نماذج المجسمات الإهليلجية الشائعة

يعرّف المجسم الإهليلجي أيضاً بنصف القطر الكبير a ومربع اللا مركزية (eccentricity) الأولى e^2 :

$$e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2}$$

تسمى اللا مركزية أيضاً التباعد المركزي. أما مربع اللا مركزية الثانية e'^2 فيحسب من العلاقة:

$$e'^2 = \frac{e^2}{1 - e^2}$$

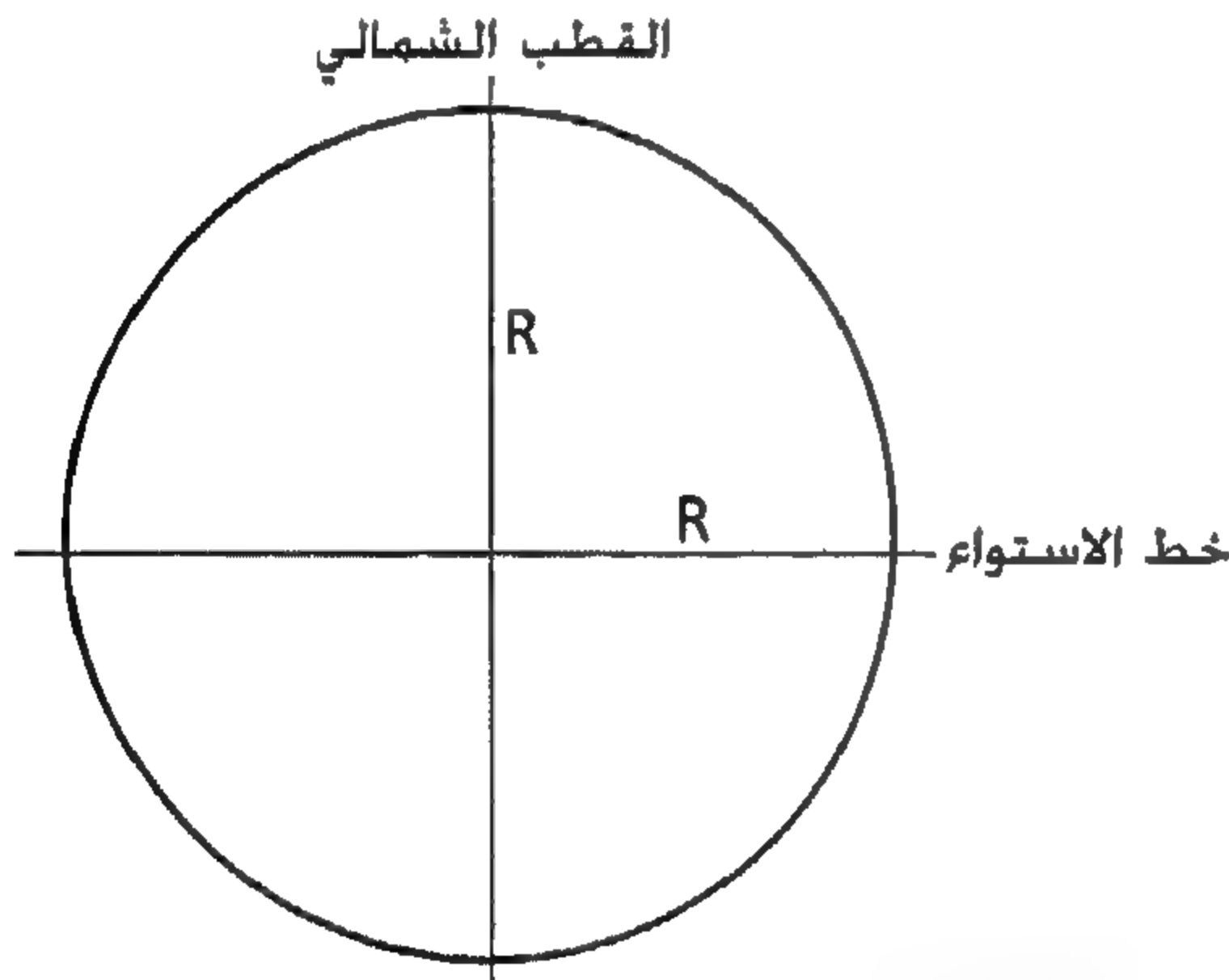
ρ_φ نصف قطر الانحناء (radius of curvature) لخط الزوال عند زاوية العرض φ :

$$\rho_\varphi = \frac{a(1 - e^2)}{(1 - e^2 \sin^2 \varphi)^{\frac{3}{2}}}$$

ν_φ نصف قطر الانحناء في الناظم الأعظم (prime vertical)؛ أي عند مستو عمودي على كل من الجسم الإهليلجي وخط الزوال المار بالنقطة (φ, λ)

$$\nu_\varphi = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi}}$$

3.3.1.2. الكرة



الشكل 3-6 الكرة بديلاً عن الجسم الإهليلجي

لا يتجاوز الفرق بين نصفي محوري الجسم الإهليلجي 22 كيلومتراً، ويمكن تشبيه هذا التفلطح برسم دائرة قطرها متر واحد ثم الضغط عليها من جهة القطبين لتصغير قطرها 2 ملم. يوضح هذا التشبيه حجم المبالغة التي نميل إليها في إبراز الفرق بين نصفي محوري الجسم الإهليلجي في الأشكال التوضيحية عادة، ويفسر لماذا يستخدم مقلوب التفلطح $1/f$ بدلاً من التفلطح عند تعريف الجسم الإهليلجي المستخدم.

يسمح الفرق الصغير بين نصفي قطري الجسم الإهليلجي بتقريب شكل الجسم الإهليلجي إلى كرة في بعض الحالات، مثل أعمال المساحة على أرض صغيرة أو عندما لا تتطلب هذه الأعمال دقة كبيرة، ويمكن أيضاً تقريب شكل الجسم الإهليلجي إلى كرة عند إعداد خرائط بمقياس صغير.

يحسب نصف قطر R للكرة البديلة عن الجسم الإهليلجي بعدة طرق منها:

- نصف قطر الكرة مساوية المساحة (authalic sphere) وهو نصف قطر الكرة التي تساوي مساحة سطحها مساحة سطح المجسم الإهليلجي:

$$R_A = a \sqrt{\frac{\left(1 - \left(\frac{(1 - e^2)}{(2e)}\right) \left(\ln \left(\frac{(1 - e)}{(1 + e)}\right)\right)\right)}{2}}$$

- يستخدم نصف قطر الكرة المطابقة (conformal sphere) في بعض أنواع الإسقاط المطابق عندما تستخدم الكرة تقريباً للمجسم الإهليلجي. يعتمد نصف قطر الكرة المطابقة على زاوية العرض ولا يكون ثابتاً:

$$R_C = \sqrt{\rho_\varphi v_\varphi}$$

حيث ρ_φ نصف قطر الانحناء لخط الزوال عند زاوية العرض φ ، و v_φ نصف قطر الانحناء في الناظم الأعظم (انظر 3.3.1.1 المجسم الإهليلجي).

قاس أبو الريحان البيروني (Abū Rayhān al-Bīrūnī) في العام 1023 قطر الأرض بطريقة المثلثات كما شرحها في كتاب "القانون المسعودي"، بالاستعانة بجبل مرتفع يطل على سهل. قاس البيروني ارتفاع الجبل، ثم رصده من على مسافة درجة، ووجد طول القوس الذي يقابل درجة واحدة فحسب منه قطر ومحيط الأرض، فكانت نتيجة القياس قريبة جداً من القياسات الحديثة:

$$a = b = 6,339,600.00 \text{ m}$$



المثال التالي بصيغة النص المعروف (WKT) يصف الكرة المعتمدة على المجسم الإهليلجي International 1924 ورمزها 7057 في قاعدة بيانات EPSG باستخدام نصف القطر، حيث يساوي مقلوب التفلطح 0:

SPHEROID["International 1924 Authalic Sphere",6371228,0]

3.3.1.3 المرجع الجيوديسي WGS 84

WGS 84 (World Geodetic System) هو اسم لثلاثة أشياء معاً: المحسّم الإهليلجي، والمرجع الجيوديسي الذي يعتمد ذلك المحسّم الإهليلجي، وكذلك النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية المبني على ذلك المرجع الجيوديسي.

يُعدّ المرجع الجيوديسي WGS 84 من المراجع الجيوديسية المهمة، وذلك للأسباب التالية:

- مستخدم في نظام الإحداثيات المرجعي في نظام تحديد المواقع العالمي GPS، وبالتالي فإن قيم الإحداثيات التي يوفرها هذا النظام منسوبة إلى هذا المرجع الجيوديسي، مع العلم أن لنظام GPS أهمية كبرى في الأعمال المساحية وأنظمة الملاحة وتطبيقات الخرائط لما يوفره من دقة وسهولة.
- صالح للتطبيقات التي تتطلب نظاماً مرجعياً يحقق التوافقية على مستوى العالم، من غير حاجة إلى إجراء عمليات التحويل على الإحداثيات، ولذلك تنتقل بعض الدول تدريجياً إلى استخدام هذا المرجع الجيوديسي بدلاً من المراجع الجيوديسية المحلية التي أدخلت عليها بعض التعديلات لتناسب منطقتها.
- مقارنة بالمراجع الجيوديسية الأخرى، يُعدّ WGS 84 أكثر دقة في تمثيل النماذج الحديثة من الجيويّد، ولا يتجاوز الخطأ في مركزه مع كتلة الأرض 2 سم، ويراوح الفرق بينه وبين الجيويّد المبني على نموذج الجاذبية EGM96 بين 105- أمتار في المحيط الهندي و 85+ متراً في الجزء الشمالي من المحيط الأطلسي، وذلك بفضل التقنيات الحديثة واستخدام الأقمار الاصطناعية في تحديد شكل الأرض.

يرمز للمرجع الجيوديسي WGS 84 في قاعدة بيانات EPSG بالرمز 6326. النص المعروف التالي يصف هذا المرجع:

```
DATUM["WGS_1984",
  SPHEROID["WGS 84",6378137,298.257223563]],
PRIMEM["Greenwich",0],
UNIT["degree",0.01745329251994328]]
```

يستخدم المرجع الجيوديسي WGS 84 مركز كتلة الأرض مبدأً للإحداثيات، وبما أن هذا المركز ليس موقعاً جغرافياً ثابتاً بل يتغير نتيجة لعوامل مختلفة منها حركة الصفائح القارية، تم تعديل المرجع الجيوديسي WGS 84 عدة مرات بتحديث الإحداثيات القديمة لمحطات GPS الأرضية وتحويلها بالاعتماد على ITRF، ونتيجة لذلك يرتبط الآن المرجع الجيوديسي WGS 84 بالإطار

المرجعي الأرضي الدولي (انظر 3.3.4 النظام/الإطار المرجعي الأرضي الدولي).

يبين الجدول التالي إصدارات النظام WGS 84 ومقدار التعديل على إحداثيات المحطات المرجعية الأرضية التي يتألف منها النظام لتتوافق مع الإطار المرجعي ITRF، والتوافق بعد التعديل بين إحداثيات نقطة حسب WGS 84 أو ITRF:

إصدار WGS 84	مقدار التعديل	التاريخ	متوافقة مع الإطار	التوافق في قياس الإحداثيات
بين WGS و ITRF				
WGS 84 (G1150)	6 سم	20/1/2002	ITRF2000	1 سم
WGS 84 (G873)	20 سم	29/1/1997	ITRF94	2 سم
WGS 84 (G730)	70 سم	29/6/1994	ITRF91	10 سم

الجدول 2-3 توافق إصدارات WGS 84 مع ITRF (NIMA, 2000) و (EPSG, 2007)



تتوفر معلومات المراجع الجيوديسية (مع أنواع المراجع الأخرى) في Oracle Spatial في الجدول MDSYS.SDO_DATUMS. المثال التالي يوضح بعض معلومات المرجع الجيوديسي WGS 84:

```
SQL> SELECT "DATUM_ID", "DATUM_NAME", "DATUM_TYPE", "ELLIPSOID_ID",
"PRIME_MERIDIAN_ID" FROM "MDSYS"."SDO_DATUMS" WHERE DATUM_NAME = 'World
Geodetic System 1984'
```

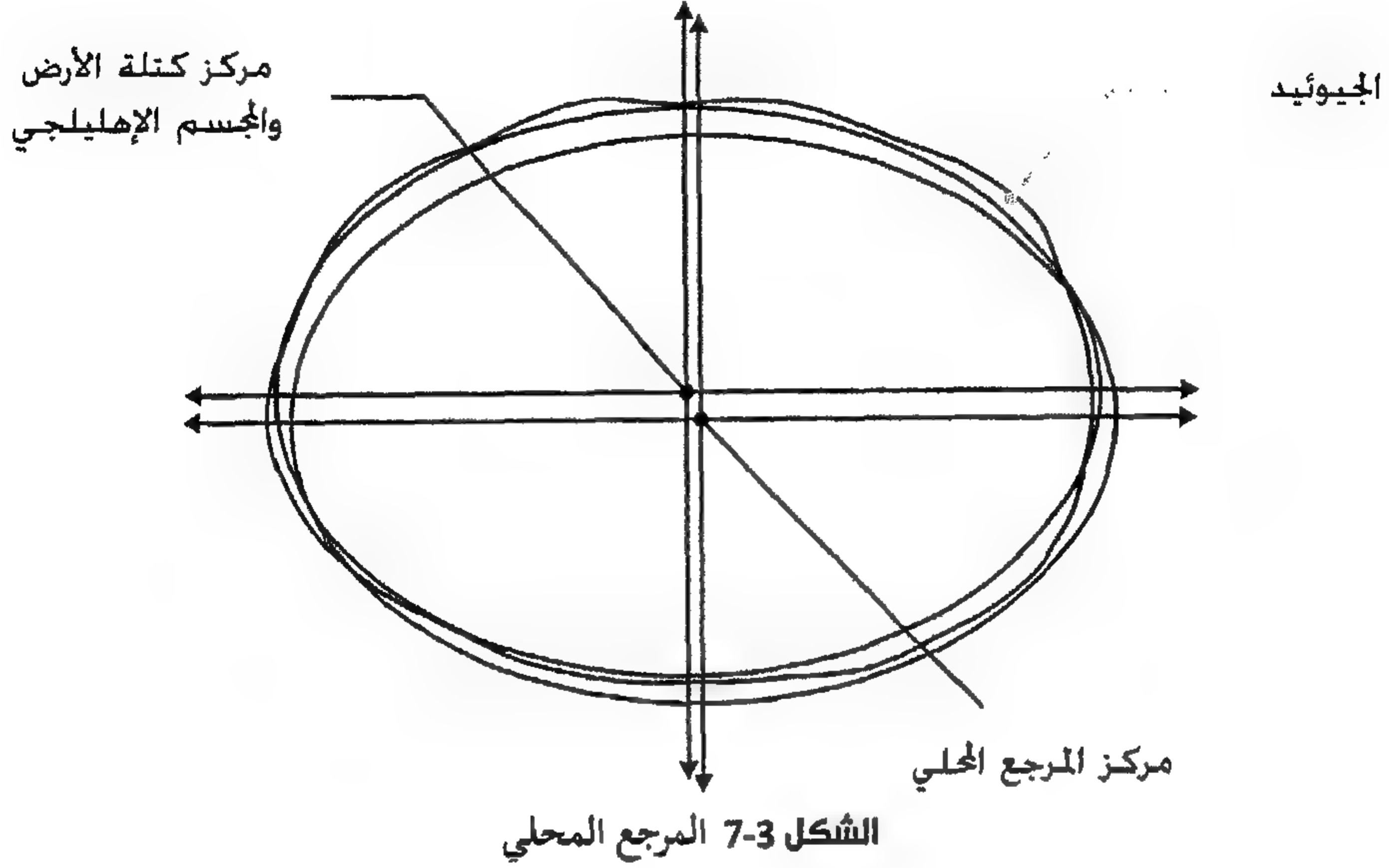
```
ELLIPSOID_ID SEMI_MAJOR_AXIS INV_FLATTENING
```

```
-----
7030 6378137 298.257224
```

3.3.1.4 المرجع الجيوديسي المحلي

تقع مراكز المجسمات الإهليلجية الحديثة في مركز كتلة الأرض، وتطابق شكل الجيويدي العام. ولكن استخدام هذه المجسمات الإهليلجية العالمية لن يكون مناسباً لكل منطقة. لذلك كانت الجهات المختصة تقوم بعد اختيار المجسم الإهليلجي المناسب بتحريكه وتوجيهه بحيث يطابق سطح الجيويدي المحلي في تلك المنطقة أفضل مطابقة، حتى لو أدى ذلك إلى ابتعاد المجسم الإهليلجي عن الجيويدي في المناطق الأخرى من العالم، ولذلك تسمى المراجع المعتمدة على مجسمات إهليلجية

محلية المراجع المحلية (local datums)، ويقتصر استخدامها على منطقة، أو دولة، أو إقليم، حسب المساحة الجغرافية التي أخذت في الحسبان في تحريك وتوجيه المجسم الإهليلجي.



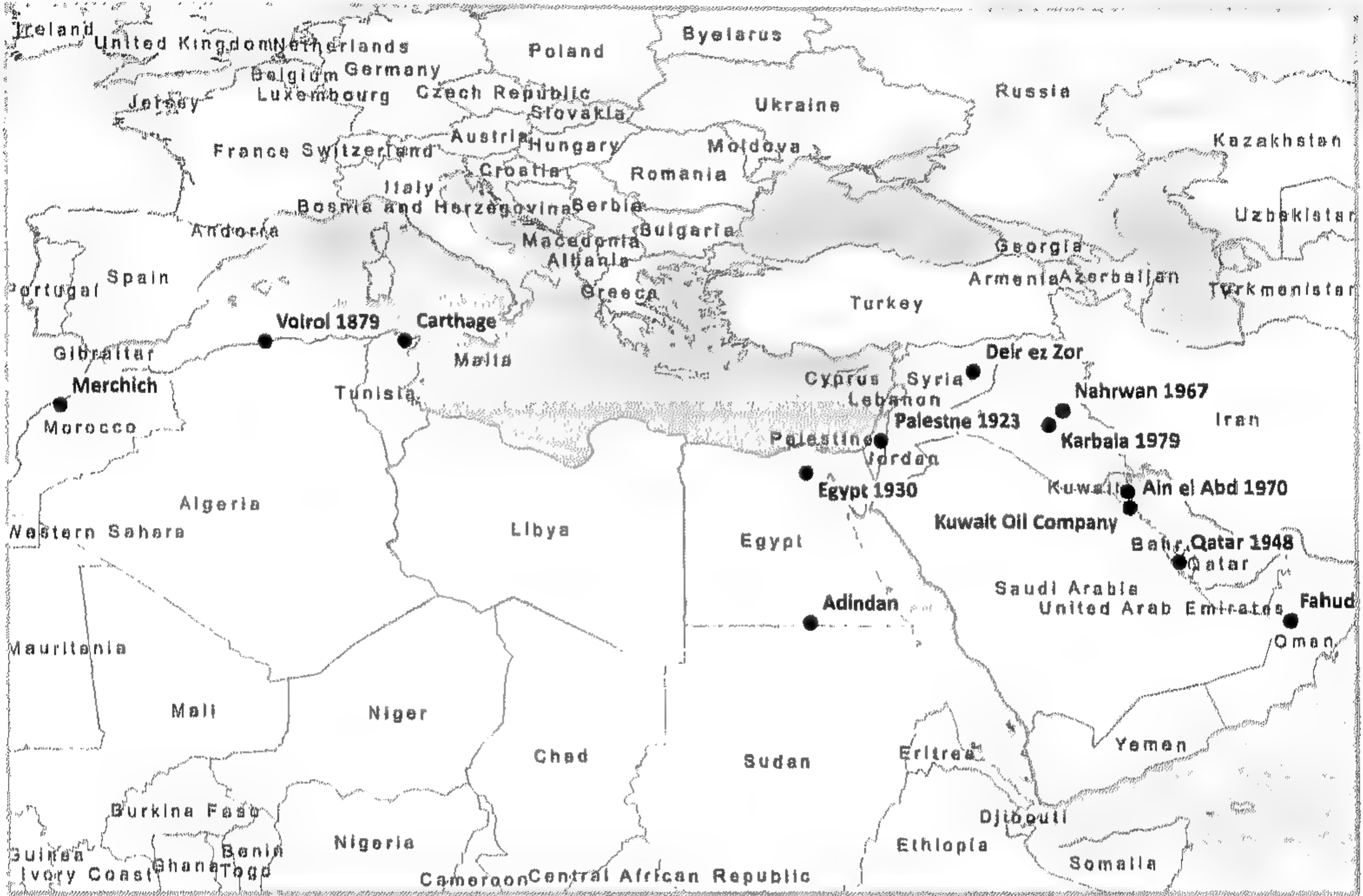
المرجع الجيوديسي المحلي ليس نوعاً خاصاً من المراجع فهو مرجع جيوديسي في نهاية المطاف، ولكن هذا المصطلح يستخدم للتفريق بين المراجع الجيوديسية العالمية مثل WGS 84 والمراجع الجيوديسية التي تم تعديلها محلياً، ولذلك لا تأتي المواصفة القياسية ISO 19111 على ذكر مصطلح المرجع الجيوديسي المحلي.

تعتمد إحدى طرق إنشاء المرجع المحلي على تحريك وتوجيه المجسم الإهليلجي بالاعتماد على نقطة واحدة تكون عادة في منتصف الشبكة الجيوديسية (انظر 3.6 الشبكة الجيوديسية الوطنية).

تسمى النقطة التي يتم تحريك وتوجيه المجسم الإهليلجي بالاعتماد عليها النقطة الأولية (initial point or fundamental point) أو أصل المرجع (datum origin)، وتسمى في ISO 19111 نقطة إرساء المرجع (datum anchor point). تُرصد إحداثيات نقطة الأصل والسمت (الاتجاه) منها إلى نقطة أخرى في الشبكة الجيوديسية باستخدام طرق فلكية. وتقبل هذه الإحداثيات الفلكية والسمت وتُعدّ مساوية - من دون إدخال أية تصحيحات - للإحداثيات الجغرافية وسمت نقطة الأصل على المجسم الإهليلجي.

"تهدف هذه الخطوة إلى التخلص من انحراف الشاقول في أصل المرجع، لأن الفرق بين الإحداثيات الفلكية والإحداثيات الجغرافية لنقطة هو قيمة انحراف الشاقول فيها. إن التخلص من هذا

الانحراف يؤدي إلى تحسين الأعمال المساحية التي تعاني قياساتها تشوهاً بحدود سنتيمترات أو عشرات السنتيمترات في كل كيلومتر نتيجة انحراف الشاقول في نقاط القياس. بعبارة أخرى يُوجّه المجسّم الإهليلجي ليصبح موازياً أكثر لسطح الجيويدي في المنطقة، بحيث يتطابق الشاقول والناظم على المجسّم الإهليلجي في نقطة الأصل". (The Defence Agency, 1983)



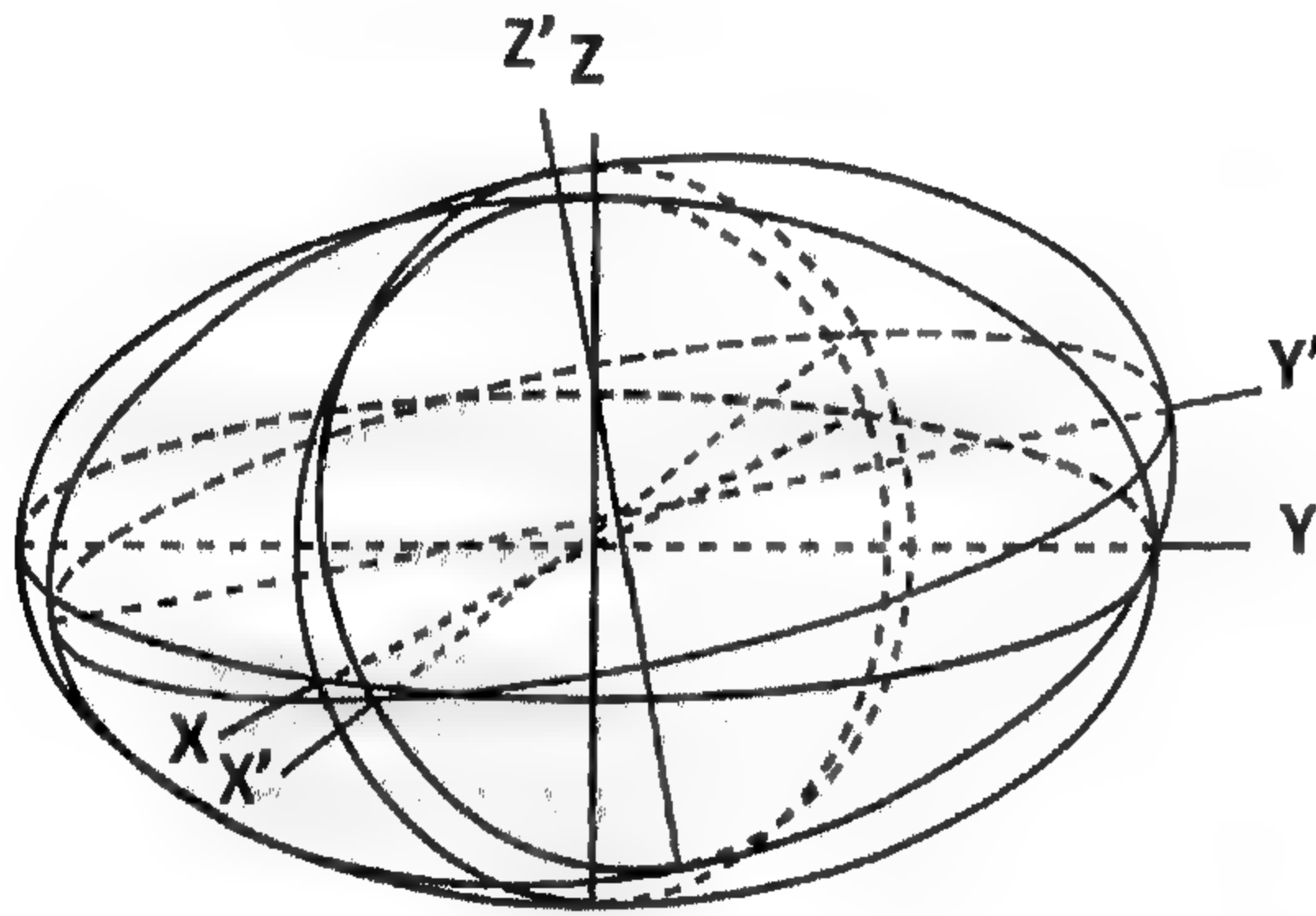
الشكل 3-8 نقاط إرساء المراجع الجيوديسية في المنطقة العربية

في خطوة ثانية، يُحسب تموج الجيويدي بدقة في نقطة الأصل، ثم تُعدّ قيمة التموج صفراً. هذا غير صحيح لو بقي المجسّم الإهليلجي في موقعه الأصلي، ولكن يمكن تحقيقه برفع أو خفض المجسّم الإهليلجي بحيث تكون المسافة بينه وبين سطح الجيويدي معدومة. تهدف هذه الخطوة إلى اختيار موقع المجسّم الإهليلجي بحيث يكون أكثر انطباقاً على سطح الجيويدي في المنطقة، ما يساعد على إنجاز الأعمال المساحية بسهولة أكبر". (The Defence Agency, 1983)

يساعد تحريك المجسّم الإهليلجي إلى الأعلى أو الأسفل في أصل المرجع إلى إلغاء تموج الجيويدي فيها، لكن ذلك يؤدي إلى الزيادة في تموجه في الأماكن الأخرى. ثمة طريقة أخرى لتوجيه المجسّم الإهليلجي باستخدام معادلة لابلاس (Laplace equation) تساعد على تقليل تموج الجيويدي في عدة نقاط من الشبكة، بدلاً من تقليله في نقطة واحدة فقط.

بعد ظهور نظام تحديد المواقع العالمي في العام 1980 لم يعد الاعتماد على نقطة واحدة في إرساء المرجع أمراً عملياً، وبدلاً من ذلك يُحدّد المرجع من خلال تطبيق تلك الشروط معينة على الإحداثيات المحسوبة لجميع النقاط، بحيث لا يكون لأي منها أهمية خاصة، ما يسمح بتعريف المرجع الجيوديسي بدقة أعلى وتحليل الأخطاء بطرق أكثر بساطة.

وتجب الإشارة إلى ضرورة إجراء قياس الإحداثيات والسمت الفلكي وتموّج الجيويّد لأصل المرجع المحلي بدقة عالية، وذلك لأن دقة المرجع المحلي تعتمد بصورة كبيرة على هذه القياسات، ولأن وجود أخطاء فيها يؤثر في دقة إحداثيات جميع النقاط على المرجع، كما تؤثر أيضاً في تحويل الإحداثيات بين الأنظمة المرجعية التي تعتمد مراجع مختلفة.



إن تحريك المجسّم الإهليلجي العالمي وتوجيهه بحيث يتعد عن مركزه وينحرف عن محاوره السابقة ليناسب منطقة بعينها يجعل المرجع المعتمد عليه مرجعاً جيوديسياً محلياً، وتكون إحداثيات المعالم منسوبة إليه ولا يمكن استخدامها مع خرائط منطقة أخرى.

الشكل 3-9 تحريك وتوجيه المجسّم الإهليلجي

هذا يعني أن المجسّم الإهليلجي (IGN) Clarke 1880 المستخدم في المرجع المحلي السوري Deir ez Zor الذي يرمز له بـ 4227 في قاعدة بيانات EPSG لا يتطابق مع المجسّم الإهليلجي Clarke (IGN) 1880 المستخدم في المرجع المحلي المغربي Merchich الذي يرمز له بـ 4261، وإن كان لهما ذات القطرين، فمركزاهما ومحاورهما تبعد عن الأخرى مسافة تصل إلى بضعة مئات من الأمتار، لأن الجهات المختصة في كلا البلدين قامت بتحرك وتوجيه المجسّم الإهليلجي Clarke 1880 (IGN) الأصلي ليناسب سطح الجيويّد المحلي.

الجدول التالي يبين المراجع الجيوديسية المحلية المستخدمة في المنطقة العربية مع رمز EPSG والمناطق التي تستخدم فيها هذه المراجع والمجسّمات الإهليلجية التي تعتمد عليها هذه المراجع:

المراجع الجيوديسي المحلي	رمز PSG	مجال الاستخدام	المجسم الإهليلجي
Adindan	6201	السودان، وأرتيريا	Clarke 1880 (RGS)
Afgooye	6205	الصومال	Krassowsky 1940
Ain el Abd 1970	6204	السعودية والبحرين والكويت	International 1924
Ayabelle Lighthouse	6713	جيبوتي	Clarke 1880 (RGS)
Carthage	6223	تونس	Clarke 1880 (IGN)
Deir Ez Zor	6227	سوريا ولبنان (البر)	Clarke 1880 (IGN)
Egypt 1907	6229	مصر	Helmert 1906
Egypt 1930	6199	مصر (البر)	International 1924
European 1950	6230	فلسطين (البحر)، الأردن، العراق (البر)، ومصر (الصحراء الغربية)	International 1924
European Libyan Datum 1979	6159	ليبيا	International 1924
Fahud	6232	عُمان (البر)	Clarke 1880 (RGS)
IGN Astro 1960	6700	موريتانيا	Clarke 1880 (RGS)
Karbala 1979	6743	العراق (البر)	Clarke 1880 (RGS)
Kuwait Oil Company	6246	الكويت (البر)	Clarke 1880 (RGS)
Libyan Geodetic Datum 2006	6754	ليبيا	International 1924
Merchich	6261	المغرب (البر)	Clarke 1880 (IGN)
Mauritania 1999	6702	موريتانيا	GRS 1980
Nord Sahara 1959	6307	الجزائر (البر)	Clarke 1880 (RGS)
Nahrwan 1967	6270	الخليج العربي، العراق، الكويت، قطر (البحر)، والإمارات	Clarke 1880 (RGS)
Palestine 1923	6281	الأردن، وفلسطين (البر)	Clarke 1880 (Benoit)
Qatar 1948	6286	قطر (البر)	Helmert 1906
Qatar 1974	6285	قطر (البر)	International 1924
Qatar National Datum 1995	6614	قطر (البر)	International 1924
Voirol 1879	6671	الجزائر (شمالي 32 درجة)	Clarke 1880 (IGN)

الجدول 3-3 المراجع الجيوديسية المحلية المستخدمة في المنطقة العربية

بفضل التطورات التقنية مثل الأقمار الاصطناعية والبرامج الحاسوبية المتخصصة تتضاءل الحاجة إلى تعديل المراجع الجيوديسية، وتتحول العديد من البلدان إلى استخدام المرجع الجيوديسي WGS 84 لأن نظام تحديد المواقع العالمي (GPS) يستخدم قياسات لتحديد المواقع تعتمد على هذا المرجع الذي ينطبق مركزه مع مركز الأرض. يساعد هذا التحول على الاستفادة من قياسات نظام تحديد المواقع العالمي، وتجنب تحويل البيانات التي يجمعها نظام GPS بالاعتماد على المرجع الجيوديسي WGS 84 إلى إحداثيات المرجع المحلي.

إن الانتقال إلى هذه المراجع الجيوديسية الحديثة والدقيقة يؤدي إلى تغيير القيم السابقة لإحداثيات جميع المعالم في الدولة، وبالتالي تتطلب عملية الانتقال تعديل جميع الخرائط والوثائق ذات الصلة بها، ما يعني أنها عملية تحتاج إلى الكثير من الموارد المالية والتقنية. ومن الأمثلة على الجهات التي تحولت إلى المرجع الجيوديسي WGS 84 إمارتا دبي وأبو ظبي في دولة الإمارات العربية المتحدة.

3.3.1.5. لمحة عن الإحداثيات الفلكية

لا يمتلك نظام الإحداثيات الفلكية حالياً أهمية في التطبيقات العامة للتقنيات المكانية، ولكن كان للقياسات الفلكية أهمية كبرى عند تعريف المرجع المحلي.

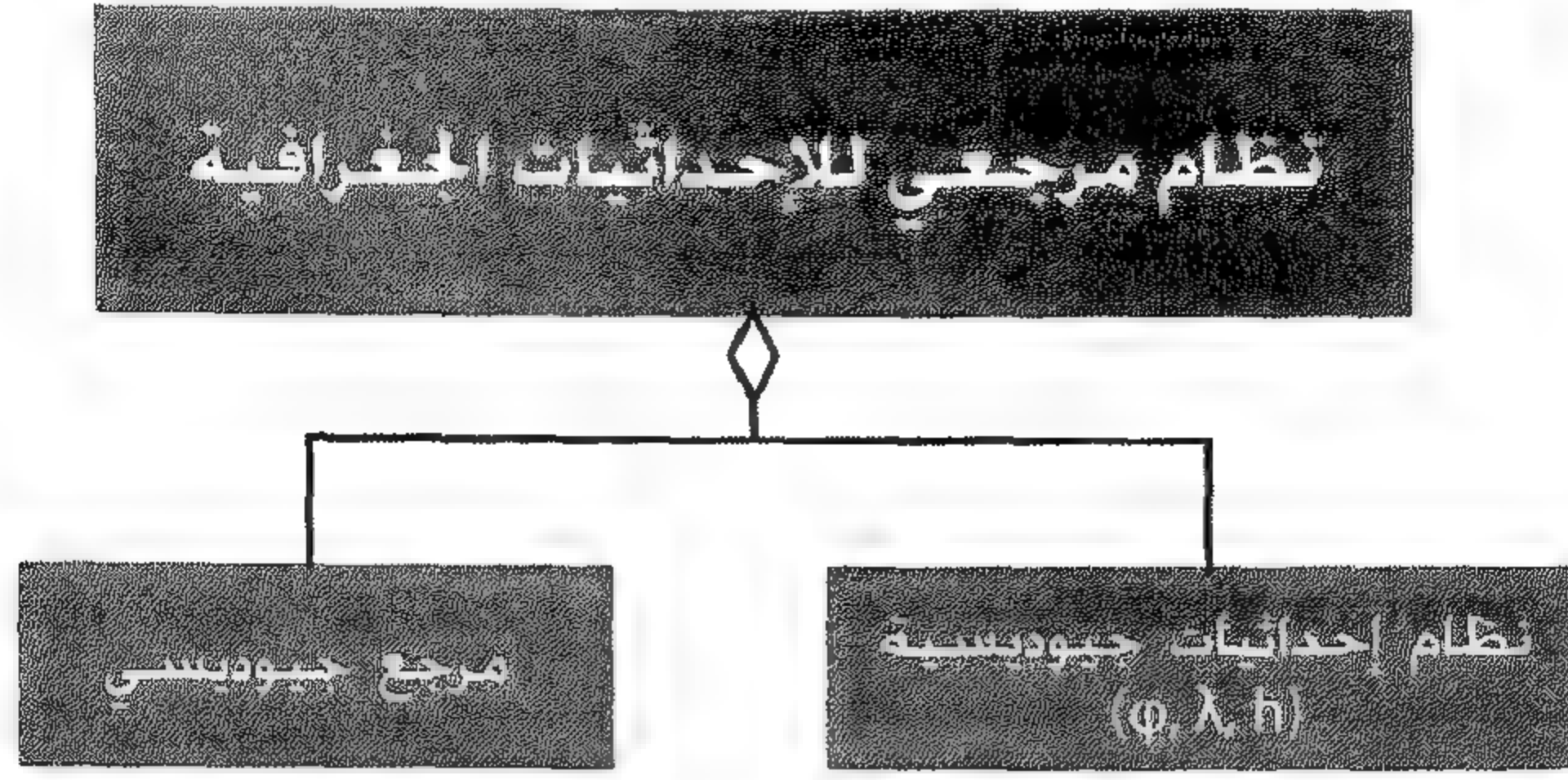
تقاس الإحداثيات الفلكية بالاعتماد على أجرام سماوية، عادة النجوم، وبالتالي لا تتعلق هذه الإحداثيات بمدى معرفتنا بشكل الأرض أو فرضيات تبسيط شكل الأرض. يمكننا ببساطة معرفة إحداثيات موقعنا على الأرض بمعرفة موقع النجم في السماء.

زاوية العرض الفلكي (astronomical latitude) هي الزاوية التي يصنعها الشاقول في تلك النقطة (سمت الرأس) مع مستوي الاستواء السماوي (celestial equator)، أما زاوية الطول الفلكي (astronomical longitude) لنقطة فهي الزاوية بين مستوي زوال النقطة ومستوي زوال مرجعي، حيث مستوي زوال النقطة هو المستوي المار بشاقولها وبالخط الواصل بين القطبين السماويين.

هذا يعني أن الإحداثيات الفلكية لنقطة على سطح الأرض قريبة جداً من إحداثياتها الجغرافية، وأن الفرق بين الإحداثيات الفلكية والإحداثيات الجغرافية لنقطة هو قيمة انحراف الشاقول فيها.

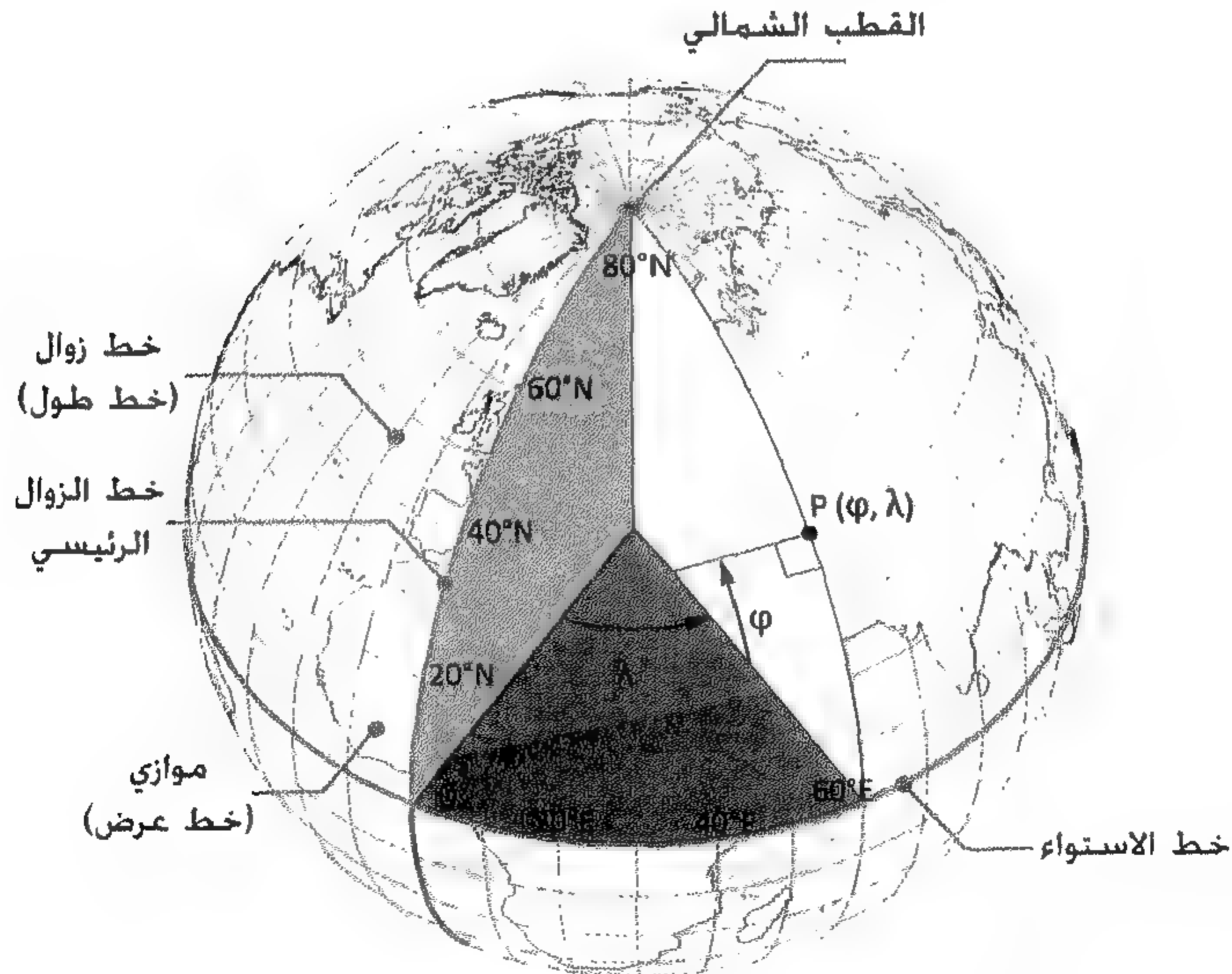
3.3.2. النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية

يتألف النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية (geographic coordinate reference system: GeogCRS) من نظام إحداثيات جيوديسية ومرجع جيوديسي.



الشكل 10-3 النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية

ينتج من تقاطع سطح المجسم الإهليلجي ومستو عمودي على قطبيه (أي مواز لمستويه الاستوائي) خط على سطح المجسم الإهليلجي يسمى **الموازي (parallel)**. الموازيات دوائر متوازية غير متساوية فيما بينها، أكبرها دائرة الاستواء (Equator) التي تقع في منتصف المسافة بين قطبي المجسم الإهليلجي. يُحدّد الموازي بالزاوية ϕ بينه وبين دائرة أو خط الاستواء، تسمى هذه القيمة **العرض (latitude)**، ولذلك تسمى الموازيات **خطوط العرض (lines of latitude)** أيضاً. يقيس خط العرض مدى قرب نقطة إلى القطبين أو خط الاستواء على طول خط الطول، ويعبر عنه بالدرجات (degrees) بين -90 درجة جنوباً و $+90$ درجة شمالاً، حيث الدرجة 0 زاوية خط الاستواء.



الشكل 11-3 النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية

تصل خطوط الزوال (meridians) في النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية بين القطبين الشمالي والجنوبي على سطح المجسم الإهليلجي، وتنتج هذه الخطوط عن تقاطع سطح المجسم الإهليلجي مع مستوٍ مارٍ من قطبيه يسمى مستوي الزوال. يسمى أحد هذه الخطوط خط الزوال الرئيسي (Prime Meridian) ويُعدّ مبدأً لخطوط الزوال الأخرى. يُحدّد خط الزوال لنقطة بالزاوية λ بين خط زوالها وبين خط الزوال الرئيسي، وتقاس بالدرجات بين -180 درجة غرباً و $+180$ درجة شرقاً، حيث الدرجة 0 خط الزوال الرئيسي. تسمى هذه القيمة الطول (longitude)، ولذلك تسمى خطوط الزوال خطوط الطول (lines of longitude) أيضاً.

وبما أن خط الزوال الرئيسي ليس ظاهرة طبيعية مثل خط الاستواء، إذاً لا يمكن تحديده إلا من خلال الاتفاق بين الجهات والدول، وقد اصطلح على أن يكون خط الزوال المار قرب المرصد الملكي في غرينيتش خط الزوال الرئيسي. لكن هذا الاتفاق ليس شاملاً، فخط زوال باريس مثلاً ما زال خط الزوال الرئيسي في بعض البلدان حتى يومنا هذا.



يشرح ابن خرداذبة في كتاب المسالك والممالك النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية كما يلي:

"والأرض مقسومة بنصفين بينهما خط الاستواء وهو من المشرق إلى المغرب وهذا طول الأرض وهو أكبر خط في كُرّة الأرض كما أن منطقة البروج أكبر خط في الفلك وعرض الأرض من القطب الجنوبي الذي يدور حوله سهيل إلى القطب الشمالي الذي يدور حوله بنات نعش، فاستدارة الأرض في موضع خط الاستواء ثلاثمائة وستون درجة".

أدخلت تعديلات على خط الزوال الرئيسي عدة مرات لضبط موقعه، ونتيجة لذلك لم يعد خط الزوال اليوم ينطبق مع العلامة المثبتة في المرصد الملكي في غرينيتش، بل يبعد عنها مسافة 102 متر إذا قيس على ذات خط العرض، ويسمى خط الزوال المرجعي الدولي (انظر 3.3.4 النظام/الإطار المرجعي الأرضي الدولي).

تتقاطع خطوط العرض والطول في شبكة تسمى شبكة خطوط العرض والطول (graticule)، مبدأها النقطة (0,0) حيث يتقاطع خطا الاستواء والزوال الرئيسي وهي مبدأ الشبكة.



يمر خط الزوال الرئيسي الذي استخدمه بطليموس (Ptolemy) في الجزر الخالدات (Fortunate Isles) وهي منطقة في المحيط الأطلسي يعتقد بأنها جزر الكناري (Canary Islands) أو الرأس الأخضر (Cape Verde) الخ، نظراً للاعتقاد السائد بأن الجزر الخالدات تقع في نهاية العالم من جهة الغرب، ولأهمية تلك الجزر في الميثولوجيا الإغريقية أيضاً.

وقد شاع استخدام خط الزوال الرئيسي هذا في العصور الوسطى، واستخدمه الجغرافيون العرب، ولذلك يمكنك أن تصادف في كتب هؤلاء الجغرافيين قيماً لزوايا طول المدن والأماكن لا تتطابق مع خطوط الطول المعتمدة على خط زوال غرينيتش. طول مكة المكرمة مثلاً باعتماد خط زوال الجزر الخالدات هو 67 درجة، بدلاً من 39 درجة و49 دقيقة.

في النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية يطلق على زوايا العرض والطول صفة جيوديسية أو إهليلجية (geodetic or ellipsoidal)، وعلى الرغم من إمكانية تحديد موقع أي نقطة بزوايا عرضها وطولها، تختلف قيمة المسافة بين هاتين الزاويتين اختلافاً كبيراً، فدوائر الطول تمر بالقطبين دائماً فهي دوائر عظمى (great circles) في جميع الاتجاهات، بينما تتضاءل دوائر العرض (باستثناء دائرة الاستواء) باتجاه القطبين حتى تصبح نقطة واحدة هي نقطة القطب.

خط العرض	مسافة الدرجة (كم)
60	55.65
45	78.7
30	96.39
0	111.3

الجدول 3-4 المسافة المقابلة لدرجة واحدة حسب خط العرض

تقاس زوايا العرض والطول بالدرجة (degree: deg) أو الغراد (grad, gon) أو الراديان (radian: rad)، حيث رموز وحدات القياس هذه في قاعدة بيانات EPSG هي 9102 و9105 و9110 في قاعدة بيانات EPSG، لكن استخدام الدرجة أكثر شيوعاً. تتألف الدرجة من 60 دقيقة قوسية (arc-minute: min) ورمزها 9103، وتتألف الدقيقة من 60 ثانية قوسية (arc-second: sec) ورمزها 9104.

تُمثل الدرجة بطرق كثيرة، منها الدرجة العشرية (decimal degree: DD) وهي الشكل الأصلي للدرجة، ومنها الدرجة الدقيقة الثانية (degree minute second: DMS)، ويمكن أن يضاف إلى الصيغتين الأخيرتين أحد الحروف (N, S, E, W) للدلالة على نصف الكرة الأرضية.

الجدول التالي يبين إحداثيات باحة الجامع الأموي في دمشق باستخدام طرق قياسية مختلفة لتمثيل الزاوية:

طريقة التمثيل	رمز EPSG	العرض	الطول
الدرجة (degree)	9102	+33.511591	+36.306608
الدرجة نصف الكرة (degree hemisphere)	9116	33.511591N	36.306608E
نصف الكرة الدرجة (hemisphere degree)	9117	N33.511591	E36.306608
الدرجة الدقيقة (degree minute)	9115	+33°30.695'	+36°18.396'
الدرجة الدقيقة نصف الكرة (degree minute hemisphere)	9118	33°30.695'N	36°18.396'E
نصف الكرة الدرجة الدقيقة (hemisphere degree minute)	9119	N33°30.695'	E36°18.396'
الدرجة الدقيقة الستونية (sexagesimal DM)	9111	+33.30695	+36.18396
الدرجة الدقيقة الثانية (degree minute second)	9107	+33°30'41.73"	+36°18'23.79"
الدرجة الدقيقة الثانية نصف الكرة (degree minute second hemisphere)	9108	33°30'41.73"N	36°18'23.79"E
نصف الكرة الدرجة الدقيقة الثانية (hemisphere degree minute second)	9120	N33°30'41.73"	E36°18'23.79"
الدرجة الدقيقة الثانية الستونية (sexagesimal DMS)	9110	+33.304173	+36.182379
الدرجة الدقيقة الثانية أجزاء الثانية الستونية (sexagesimal DMS.s)	9121	+333041.73	+361823.79

الجدول 3-5 إحداثيات باحة الجامع الأموي في دمشق بالطرق القياسية لتمثيل الدرجة

يمكن تحويل الزوايا بين الدرجة والغراد والراديان كما يلي:

$$deg = rad \left(\frac{180}{\pi} \right)$$

$$rad = deg \left(\frac{\pi}{180} \right)$$

$$\frac{deg}{360} = \frac{gon}{400}$$

كما يمكن تغيير وحدة قياس الزوايا بين الدرجة العشرية والدرجة الدقيقة الثانية باستخدام المعادلة التالية:

$$decimal\ degree = deg + \frac{min}{60} + \frac{sec}{3600}$$

ثمة علاقة وثيقة بين ضبط (precision) الدرجة أي عدد المنازل العشرية فيها والدقة الموقعية للإحداثيات، وكلما ازداد الضبط ازدادت الدقة، والعكس بالعكس. ولذلك عندما يتطلب العمل دقة موقعية ما علينا أن نقوم بتخزين الإحداثيات في المستوى الملائم من الضبط.

يبين الجدول التالي قيم عدم التيقن (uncertainty) بالتر المناظرة لمستويات مختلفة من الضبط في خطوط عرض مختلفة حيث يختلف تأثير الضبط في الدقة باختلاف عرض المكان (Wieczorek, et al., 2004):

عدم التيقن (متر)				
الضبط	عند خط الاستواء	عند خط العرض 30 درجة	عند خط العرض 60 درجة	عند خط العرض 85 درجة
1.0 درجة	156904	146962	124605	112109
0.1 درجة	15691	14697	12461	11211
0.01 درجة	1570	1470	1247	1122
0.001 درجة	157	147	125	113
0.0001 درجة	16	15	13	12
0.00001 درجة	2	2	2	2

الجدول 3-6 عدم التيقن حسب ضبط الإحداثيات (المرجع الجيوديسي WGS 84)



تتوفر مجموعة من الأدوات الفورية للتحويل بين الدرجة العشرية والدرجة الدقيقة الثانية، منها الأداة المتوفرة على موقع Federal Communications Commission:

<http://transition.fcc.gov/mb/audio/bickel/DDDMMS-decimal.html>

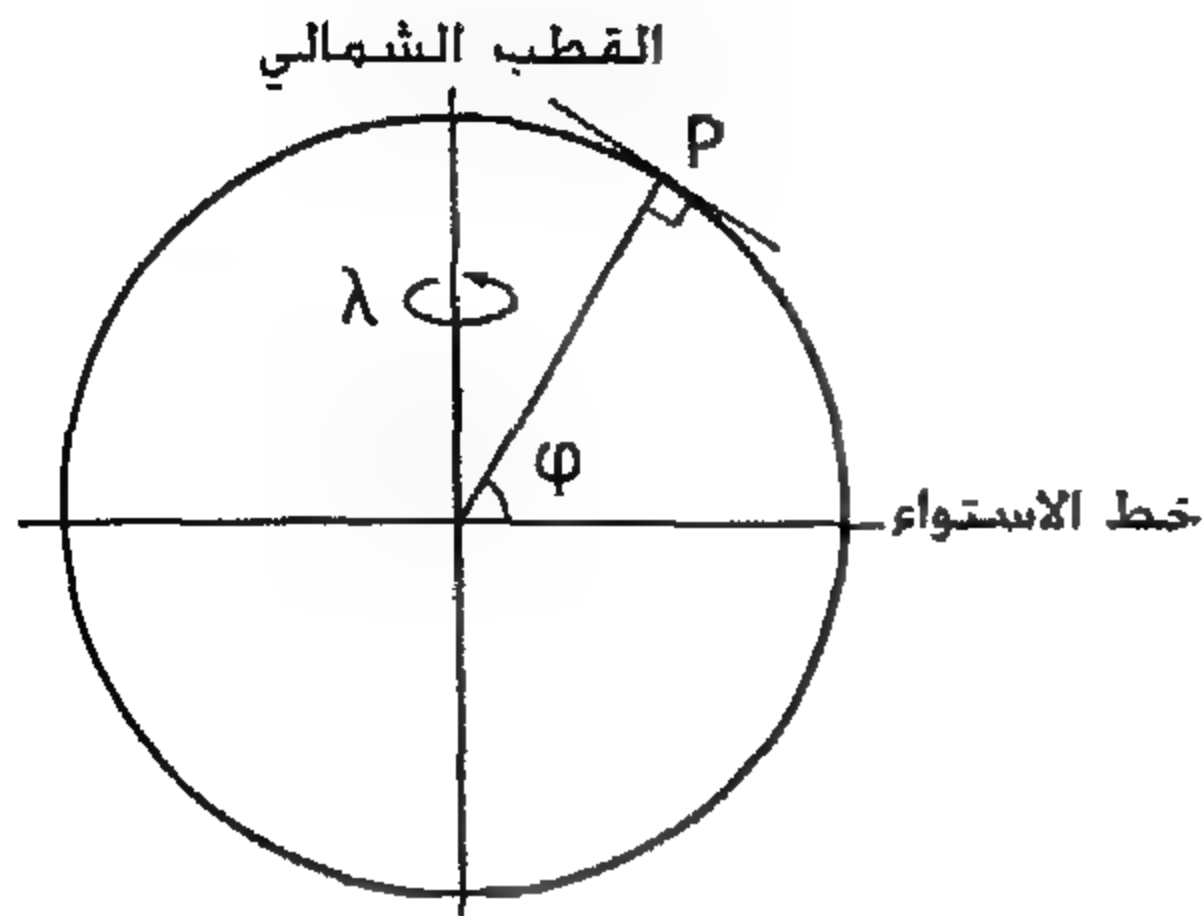
الترتيب القياسي للإحداثيات هو زاوية خط العرض تليها زاوية خط الطول ثم الارتفاع إن وجد، لكن بعض التطبيقات وهيئات (formats) البيانات تستخدم ترتيباً غير قياسي ما يمكن أن يؤدي إلى إظهار البيانات المكانية في موقع بعيد جداً عن موقعها الأصلي، ولذلك على مستخدمي نظام المعلومات الجغرافية مراجعة الوثائق ذات الصلة بهذه التطبيقات أو البيانات المكانية.



استخدم العرب نظام الحروف لكتابة الإحداثيات الجغرافية بدلاً من الأرقام، ويعرف هذا النظام بحساب الجُمَّل ويمثل فيه كل حرف من حروف الأبجدية رقماً، وبالتالي يمكن كتابة أي رقم بتشكيل مجموعة من الحروف تساوي قيمتها قيمة ذلك الرقم في كلمة واحدة. الزاوية 79 يمكن كتابتها "عط"، والزاوية 133 تُكتب "قلج"، وهكذا. ويبين الجدول التالي الحروف العربية وقيمتها بحساب الجُمَّل:

الحرف	القيمة	الحرف	القيمة	الحرف	القيمة	الحرف	القيمة
أ	1	ح	8	س	60	ت	400
ب	2	ط	9	ع	70	ث	500
ج	3	ي	10	ف	80	خ	600
د	4	ك	20	ص	90	ذ	700
هـ	5	ل	30	ق	100	ض	800
و	6	م	40	ر	200	ظ	900
ز	7	ن	50	ش	300	غ	1000

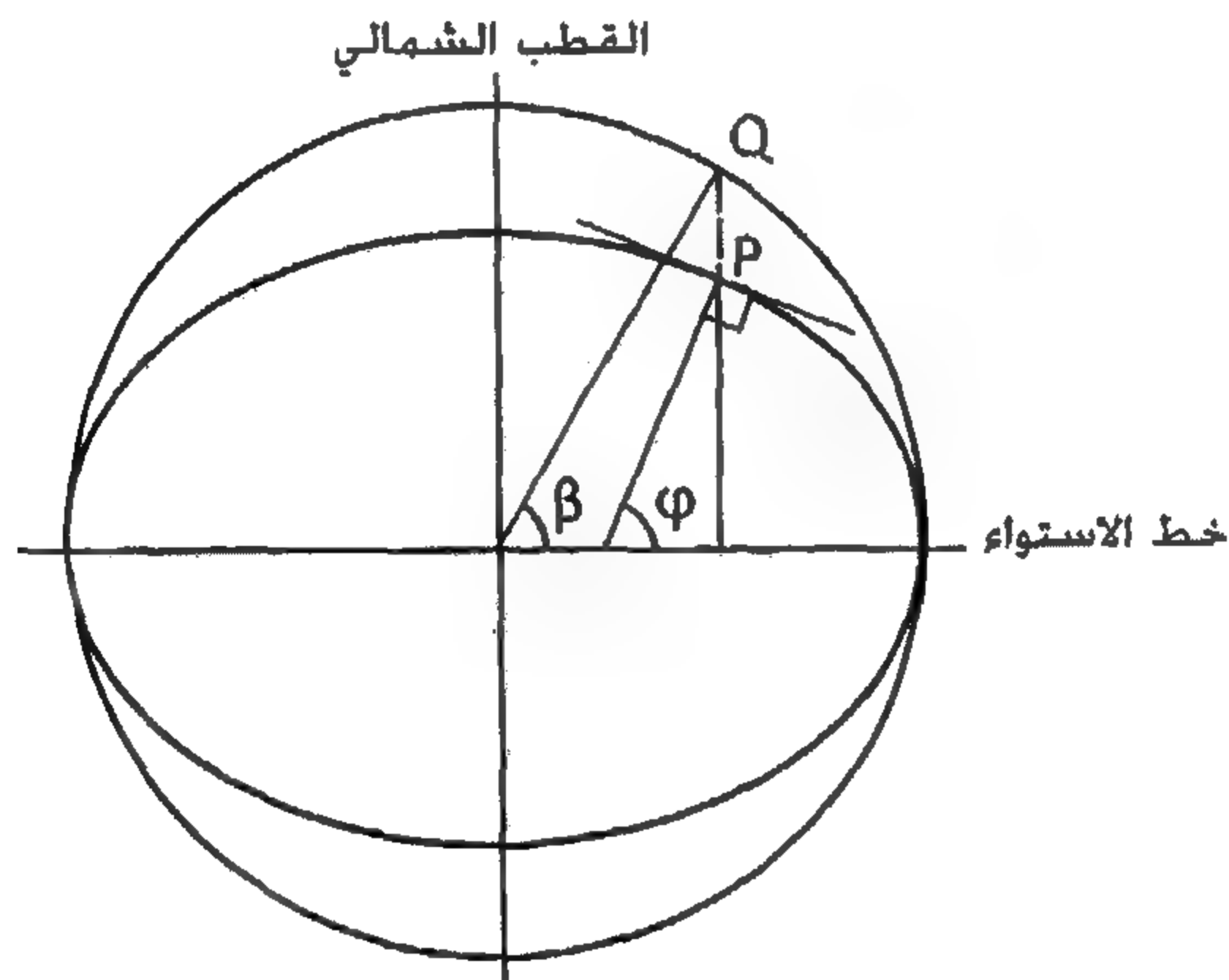
الجدول 7-3 حساب الجُمَّل



يُستخدم النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية مع الكرة بصورة مشابهة للمجسم الإهليلجي، ويختلفان فقط في طريقة حساب زاوية العرض φ ، حيث تحسب بين المستوي الاستوائي وخط يصل النقطة بمركز الكرة دائماً، لأن جميع النواظم على سطح الكرة تمر من مركزها.

الشكل 3-12 نظام الإحداثيات الجغرافية المرجعي مع الكرة

تعرف زاوية العرض المختصرة (β : reduced latitude) بأنها الزاوية المرسومة من مركز المجسم الإهليلجي إلى النقطة Q على الكرة المحيطة بالمجسم الإهليلجي والتي هي إسقاط النقطة P على طول خط مواز لمحور الأرض كما في الشكل:



الشكل 3-13 زاوية العرض المختصرة

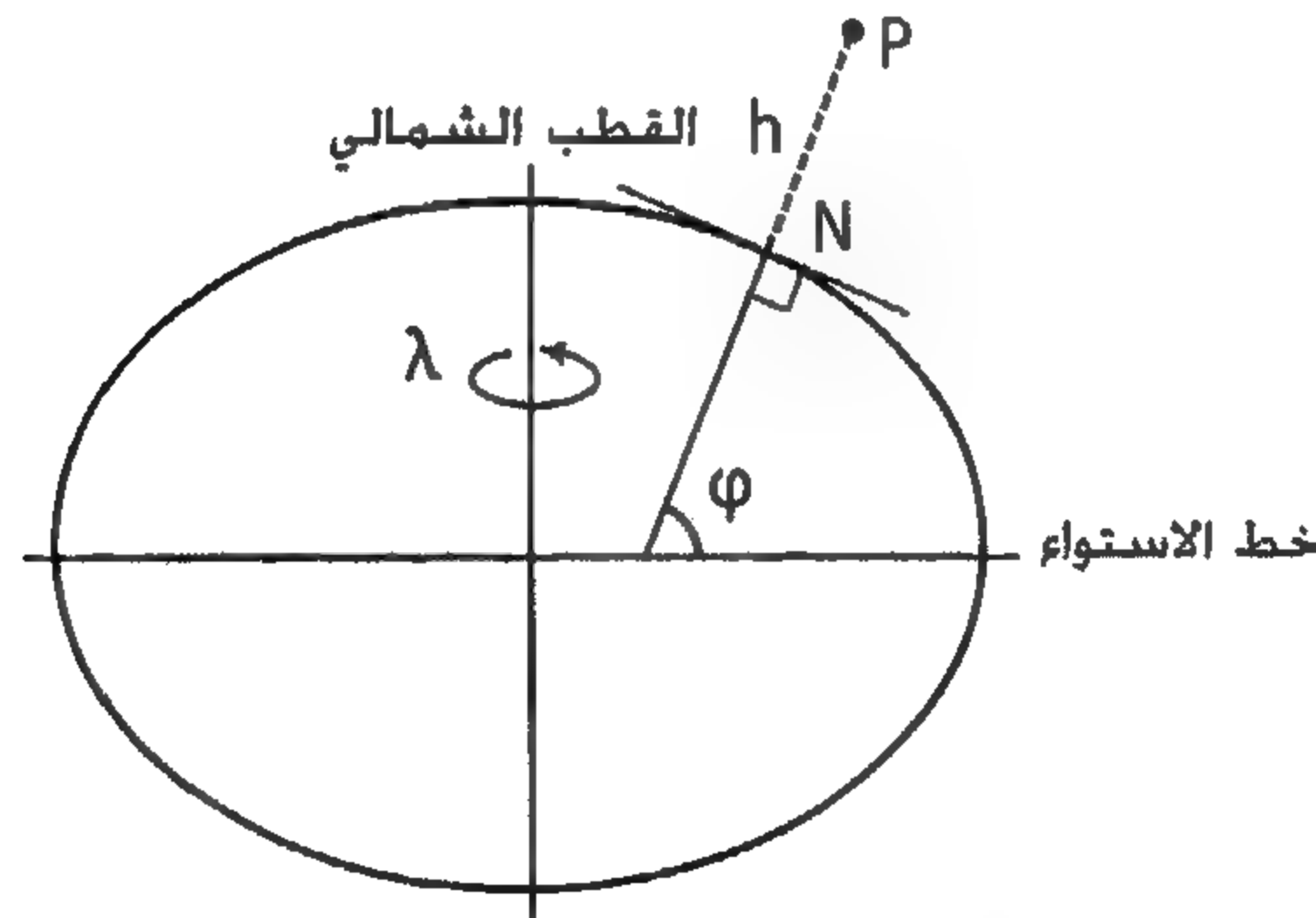
يشار إلى النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية في النص المعروف (WKT) اختصاراً بـ GEOGCS، ويوضح المثال التالي النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية المسمى عين العبد والمستخدم في البحرين والكويت والمملكة العربية السعودية. هذا النظام المرجعي مبني على مرجع جيوديسي اسمه عين العبد 1970 يعتمد على المجسم الإهليلجي International 1924:


```
GEOGCS["Ain el Abd",
  DATUM["Ain_el_Abd_1970",
    SPHEROID["International 1924",6378388,297,
      AUTHORITY["EPSG","7022"]],
    AUTHORITY["EPSG","6204"]],
  PRIMEM["Greenwich",0,
    AUTHORITY["EPSG","8901"]],
  UNIT["degree",0.01745329251994328,
    AUTHORITY["EPSG","9122"]],
  AUTHORITY["EPSG","4204"]]
```

لاحظ أن نظام الإحداثيات المرجعي هذا ليس مبنياً على المرجع الجيوديسي WGS 84، وبالتالي لا يمكن استخدام قياسات GPS معه إلا بعد تحويلها.

3.3.2.1 النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية ثلاثية الأبعاد

يمكن أن يكون النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية ثنائي أو ثلاثي الأبعاد. يستخدم النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية ثنائية الأبعاد عندما توصف مواقع المعالم على سطح الجسم الإهليلجي من خلال إحداثيات العرض والطول فقط، لكن المواقع على السطح الطوبوغرافي للأرض هي في معظم الأحيان فوق وأحياناً تحت سطح الجسم الإهليلجي، ولذلك يستخدم النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية ثلاثية الأبعاد لوصف هذه المواقع فوق أو تحت سطح الجسم الإهليلجي بإضافة الارتفاع الإهليلجي إلى إحداثيات العرض والطول.

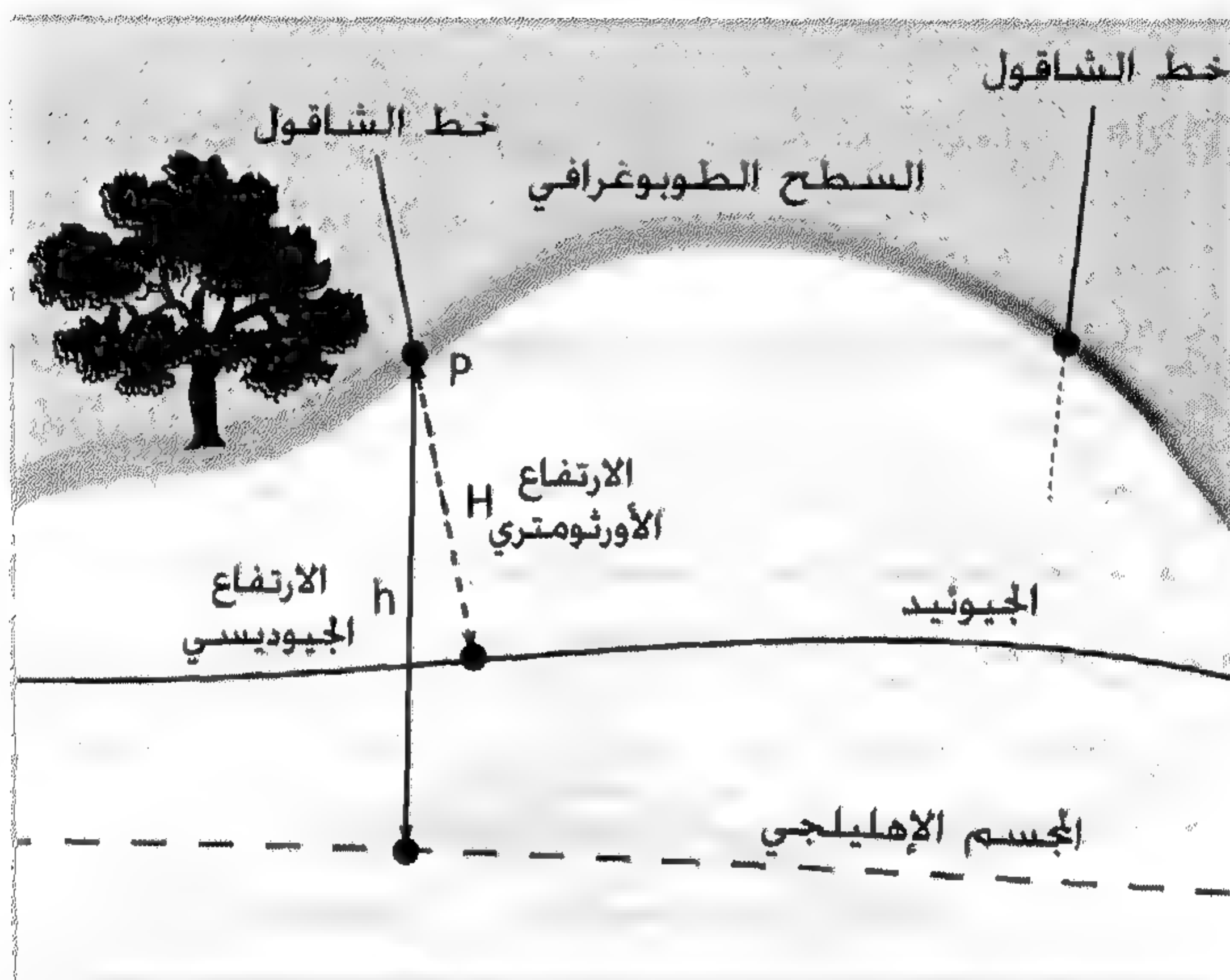


الشكل 3-14 الارتفاع الجيوديسي

يعرّف الارتفاع الجيوديسي أو الارتفاع الإهليلجي (geodetic height or ellipsoidal height) أو الارتفاع فوق الجسم الإهليلجي (height above ellipsoid: HAE) لنقطة P

بطول القطعة PN على طول الناظم (normal) أي العمودي على سطح المجسم الإهليلجي من النقطة P وهو يتقاطع مع سطح المجسم في النقطة N.

يختلف الارتفاع الجيوديسي عن الارتفاع الأورثومتري (orthometric height) للنقطة؛ فالارتفاع الأورثومتري يكون فوق سطح الجيويد أو متوسط منسوب البحر على طول خط الشاقول المار بالنقطة، ويسمى أيضاً الارتفاع المعتمد على الجاذبية (gravity-related height) في قاعدة بيانات EPSG.



الشكل 3-15 الفرق بين الارتفاع الجيوديسي (الإهليلجي) والارتفاع الأورثومتري (المعتمد على الجاذبية)

إن المسافة المقيسة فوق أو تحت المجسم الإهليلجي لا يمكن عدّها ارتفاعاً أو عمقاً، فهي غير ذات معنى، ويمكن أن نجد في مكان ما من سطح الأرض نقطتان آ و ب، بحيث يكون الارتفاع الإهليلجي لـ آ أكبر من ب، في حين يكون الارتفاع الأورثومتري (وهو الارتفاع الحقيقي) لـ ب أكبر من آ.

من الجدير بالذكر أن الارتفاعات في نظام تحديد المواقع العالمي GPS ارتفاعات إهليلجية منسوبة إلى المرجع الجيوديسي WGS 84 وليست مقيسة على متوسط منسوب البحر أو سطح الجيويد، وبالتالي لا يمكن استخدامها في تطبيقات الخرائط العامة، لأن الارتفاعات في معظم الأعمال الإنشائية والمساحية وتطبيقات الخرائط هي ارتفاعات أورثومتريّة.

يختلف كذلك اتجاه الناظم PN على سطح المجسم الإهليلجي أيضاً عن اتجاه خط الشاقول أي

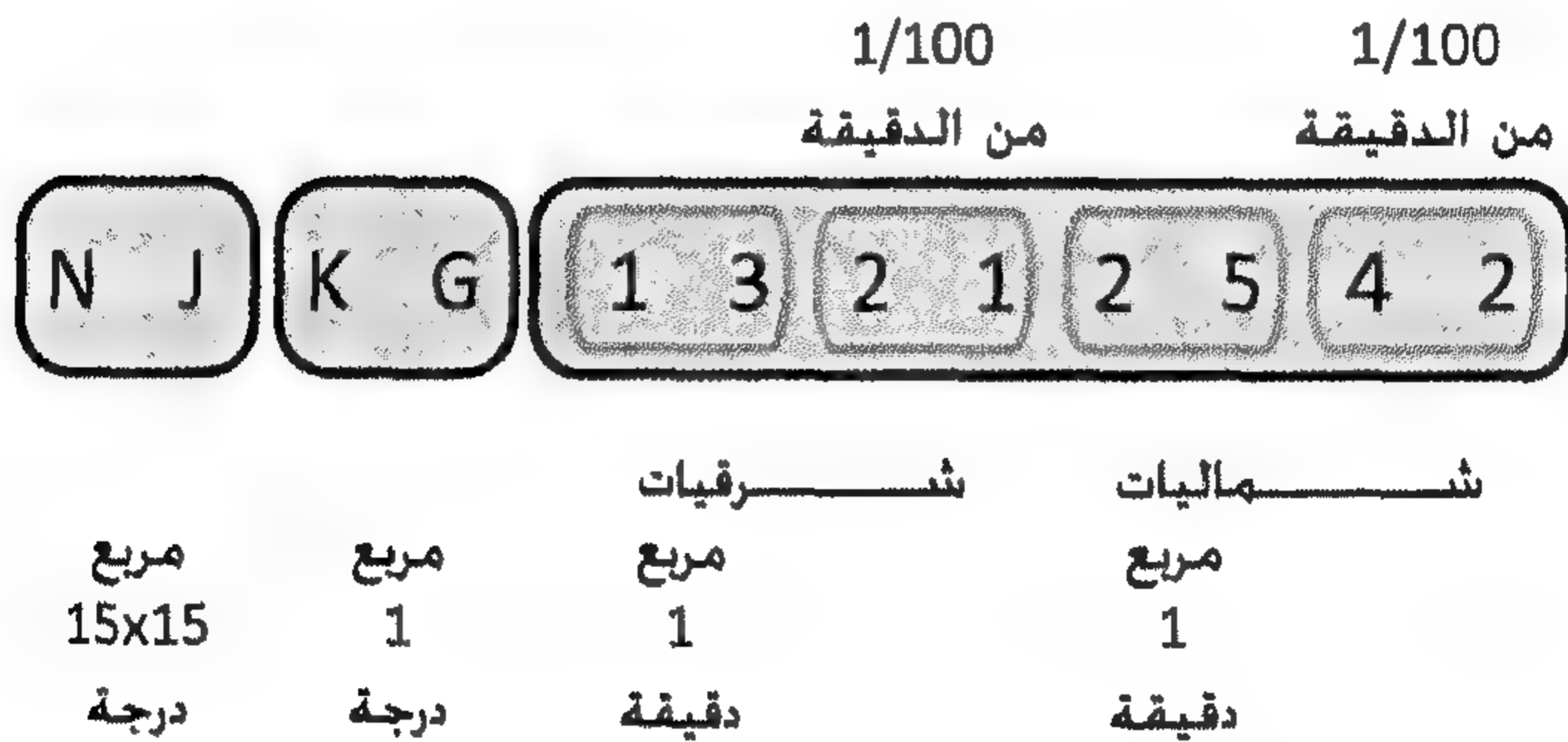
الناظم على سطح الجيويثيد، ويكوّنان زاوية تدعى انحراف الشاقول أو انحراف الرأسى (deflection of vertical or vertical deflection: VD)، لأن الناظم على سطح المجسّم الإهليلجى ليس عمودياً على الجيويثيد مثل خط الشاقول. ويؤخذ انحراف الشاقول فى الحسبان عند إجراء الأعمال المساحية، ويصل فى الهيمالايا إلى 100 ثانية (أو 0.03 درجة).

3.3.2.2 GEOREF

النظام المرجعى الجغرافى العالمى (World Geographic Reference System: GEOREF) هو أحد تطبيقات النظام المرجعى للإحداثيات الجغرافية وليس نظاماً مرجعياً قائماً بذاته، ولذلك لا تأتى قاعدة بيانات EPSG على ذكره. GEOREF طريقة لتحديد المواقع على سطح الأرض بالاعتماد على شبكة خطوط طول وعرض النظام المرجعى للإحداثيات الجغرافية، ولكن باستخدام أسلوب ترميز أكثر بساطة ومرونة. استخدم هذا النظام فى الملاحة الجوية، وبخاصة فى التطبيقات العسكرية، ولكن يمكن الاستفادة منه وتطبيقه على أى خريطة تظهر فيها خطوط الطول والعرض.

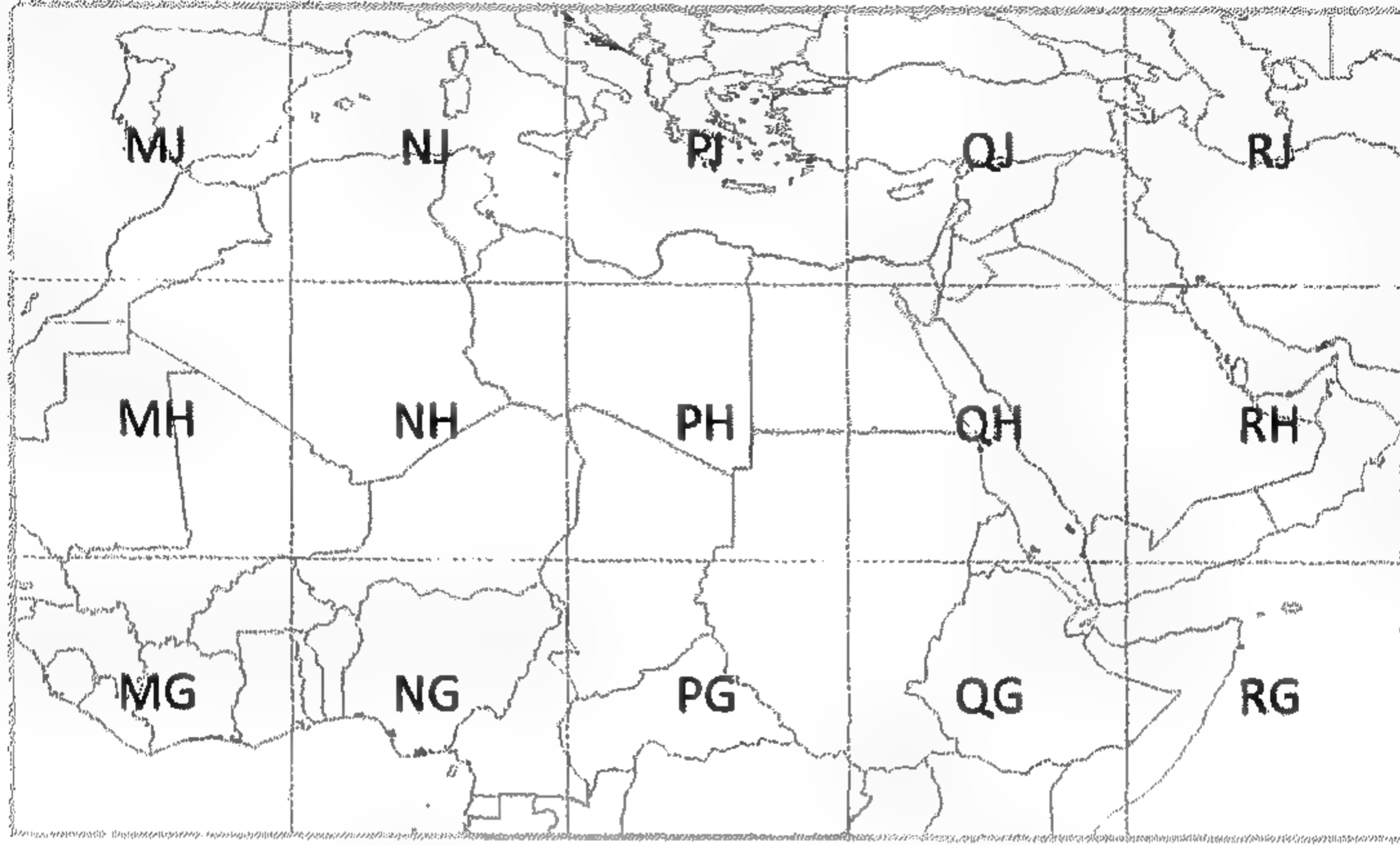
يُقسم سطح الأرض فى GEOREF إلى مربعات، يمكن تقسيم كل مربع منها إلى مربعات أصغر، وهكذا، مع استخدام نظام لترقيم كل مربع فى أى مستوى من مستويات التقسيم بالاعتماد على المربع الأب. يختلف GEOREF عن النظام المرجعى للإحداثيات الجغرافية فى اتجاه التقسيم، فهو يعمل فى اتجاه أفقى واحد يبدأ من خط الطول 180 درجة باتجاه الشرق، واتجاه عمودى واحد يبدأ من القطب الجنوبى باتجاه القطب الشمالى. ويمكن التعبير عن الإحداثيات فى مستويات مختلفة من الدقة، وذلك بترميزها جغرافياً باستخدام مجموعة من الحروف والأرقام.

تتألف الإحداثيات فى GEOREF من ثلاثة أجزاء:



الشكل 3-16 مكونات GEOREF

- في المستوى الأول من GEOREF يُقسم سطح الأرض إلى مربعات قياس كل منها 15 درجة من خطوط الطول و 15 درجة من خطوط العرض، ينتج من هذا التقسيم 24 منطقة من خطوط الطول و 12 نطاقاً من خطوط العرض. تُسمى مناطق خطوط الطول باستخدام الحروف من A إلى Z ولا يستخدم الحرفان I و O منعاً للالتباس.

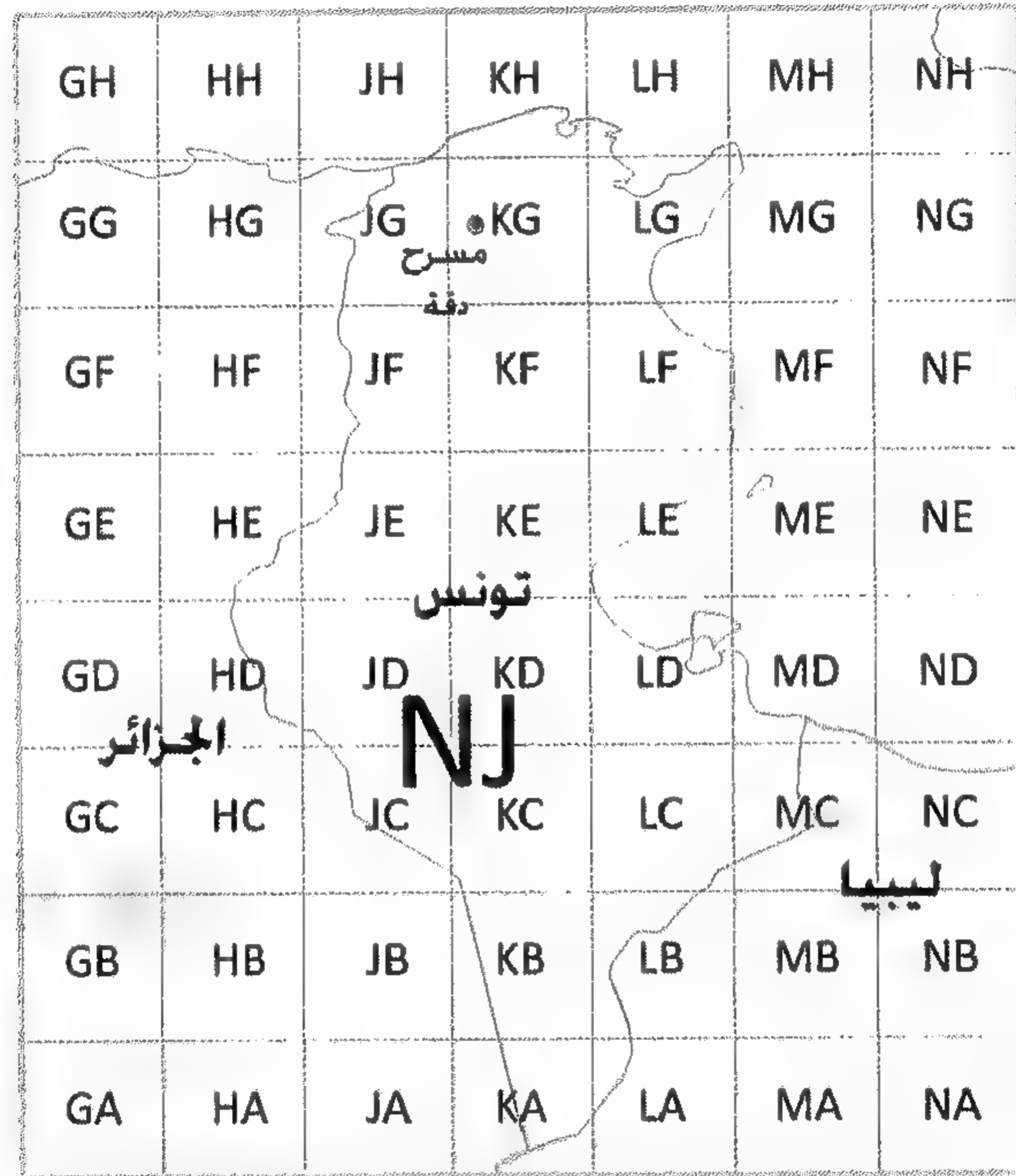


الشكل 3-17 المستوى الأول من GEOREF

تبدأ مناطق خطوط الطول من الدرجة 180 شرقاً، وتنتهي في الدرجة 180 غرباً. تُسمى نطاقات خطوط العرض باستخدام الحروف من A إلى M ولا يستخدم الحرف I منعاً للالتباس. تبدأ نطاقات خطوط العرض من القطب الجنوبي (الدرجة 90 جنوباً) وتنتهي في القطب الشمالي (الدرجة 90 شمالاً). وبالتالي، يمكن تحديد أي مربع من مربعات الخمسة عشرة درجة بواسطة حرفين؛ خط الطول أولاً يليه خط العرض. يشكل هذان الحرفان أول حرفين من إحداثيات GEOREF.

- في المستوى الثاني من GEOREF يُقسم كل مربع من مربعات المستوى الأول إلى مربعات أصغر قياس كل منها 1 درجة طولاً و 1 درجة عرضاً. تُسمى مربعات خطوط الطول من الغرب باتجاه الشرق باستخدام الحروف من A إلى Q ولا يستخدم الحرفان I و O منعاً للالتباس. وتُسمى مربعات خطوط العرض من الجنوب باتجاه الشمال باستخدام الحروف من A إلى Q ولا يستخدم الحرفان I و O منعاً للالتباس. وبالتالي، يمكن تحديد أي مربع من مربعات المستوى الثاني بواسطة حرفين؛ خط الطول أولاً يليه خط العرض. يشكل هذان الحرفان ثالث ورابع حروف إحداثيات GEOREF.

يُقسم كل من مربعات المستوى الثاني إلى مربعات صغيرة قياس كل منها 1 دقيقة طولاً و 1 دقيقة عرضاً. تُسمّى مناطق خطوط الطول من الغرب باتجاه الشرق باستخدام الأرقام من 00 إلى 59، ومناطق خطوط العرض من الجنوب باتجاه الشمال باستخدام الأرقام 00 إلى 59. تكتب هذه الأرقام باستخدام عددين دائماً مع إضافة صفر قبل الأعداد أقل من 10. تشكل الأرقام الأربعة (رقما خطوط الطول يليهما رقما خطوط العرض) مع الحروف الأربعة السابقة إحداثيات GEOREF بدقة 1 دقيقة.



الشكل 3-18 المستوى الثاني من GEOREF

- يمكن تقسيم مربعات المستوى الثالث إلى 10 أو 100 مربع أصغر بالطريقة ذاتها ما يسمح بتحديد المواقع بدقة تصل إلى 1/10 دقيقة باستخدام أربعة حروف وستة أرقام أو بدقة 1/100 دقيقة باستخدام أربعة حروف وثمانية أرقام.

على غرار GEOREF المبني على نظام الإحداثيات الجغرافية، ثمة نظام آخر شبيه ولكنه مبني على نظام الإحداثيات المسقط UTM يسمى النظام المرجعي للشبكة العسكرية (MGRS) (انظر 4.10.3.1.3 النظام المرجعي للشبكة العسكرية).

مشروع:

يراد إيجاد إحداثيات GEOREF لمسرح دقة (Theatre of Dougga) في تونس بدقة 1/100 من الدقيقة، علماً بأن الإحداثيات الجغرافية لمنصة المسرح هي:

9°13'12.87"E

36°25'25.49"N

الحل:

حسب الخرائط السابقة، يقع المسرح في المربع NJKG، وبالتالي يمكن كتابة إحداثيات منصته في GEOREF بدقة 1/100 دقيقة كما يلي:

NJKG13212542

حيث:

$$12.87'' / 60 = 0.2145$$

$$25.49'' / 60 = 0.4248$$

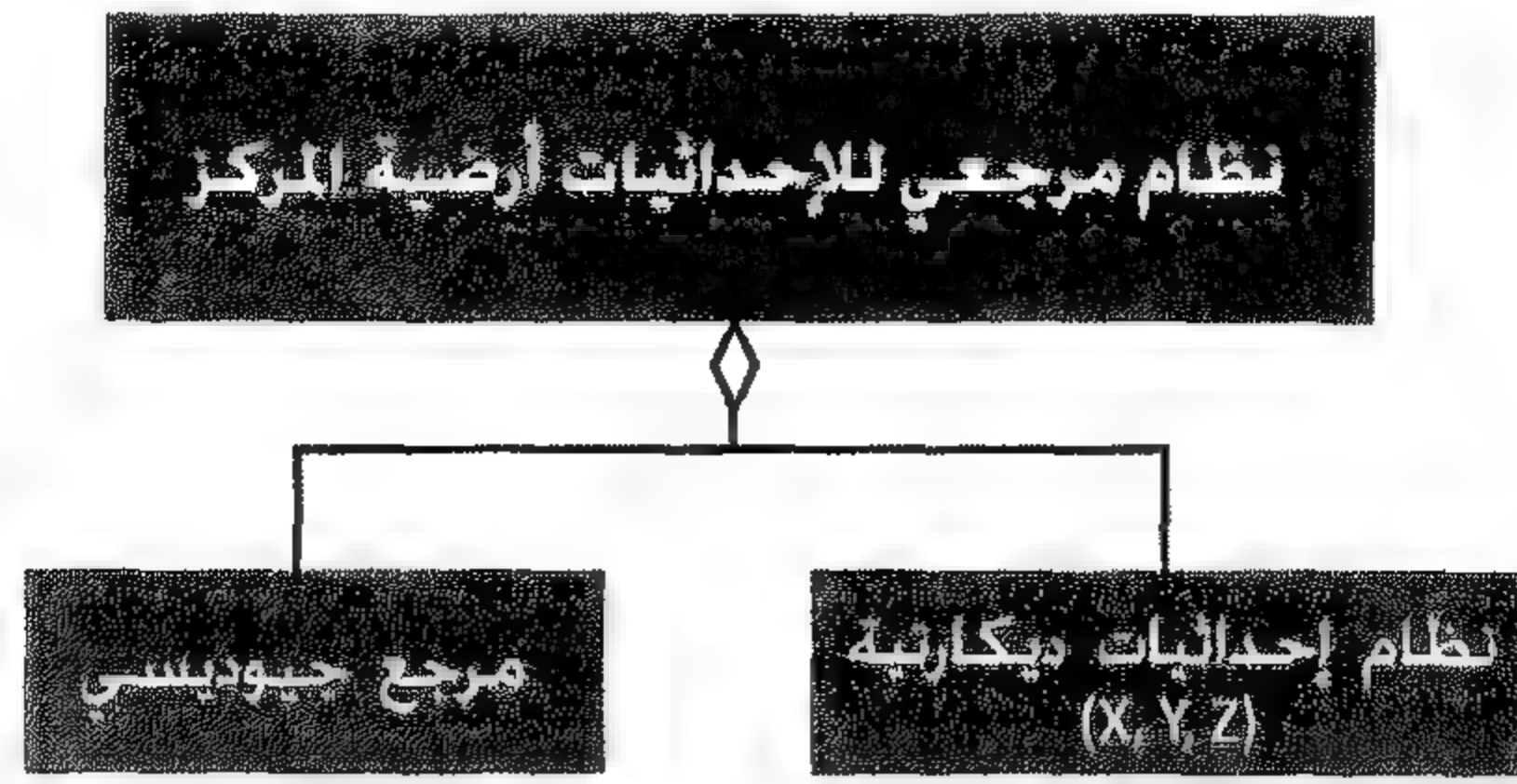


يمكن في ArcGIS إنشاء بيانات مكانية (نقاط) من جدول يتضمن إحداثيات نقاط منسوبة إلى نظام GEOREF (أو توليد جدول بإحداثيات GEOREF من نظام إحداثيات آخر) من خلال الأداة Convert Coordinate Notation في ArcToolbox:

ArcToolbox > Data Management Tools > Projections and Transformations > Convert Coordinate Notation

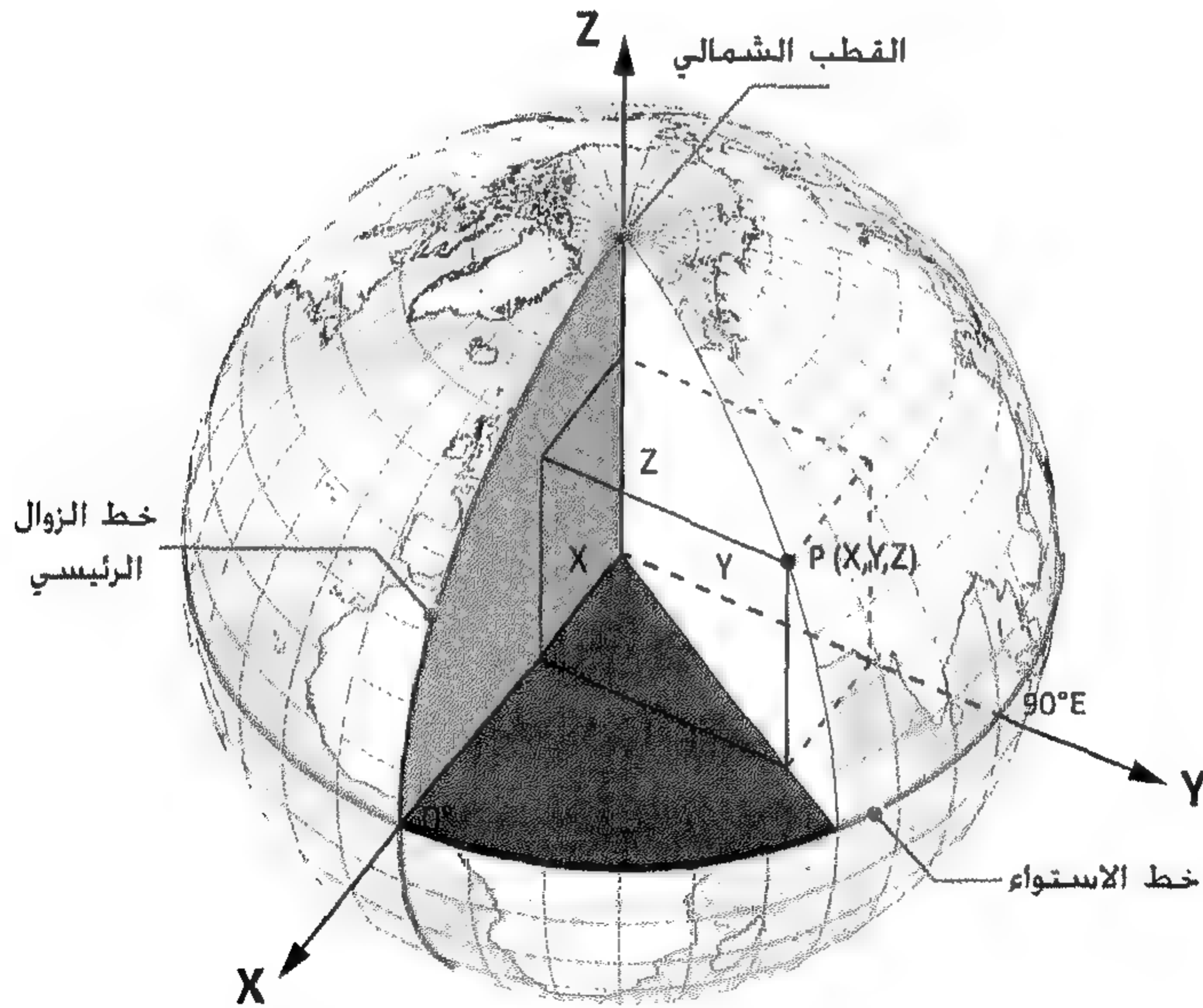
3.3.3 النظام المرجعي للإحداثيات أرضية المركز

يعتمد النظام المرجعي للإحداثيات أرضية المركز (geocentric coordinate reference system) على نظام إحداثيات ديكارتية (cartesian coordinate system) ذي ثلاثة محاور وعلى مرجع جيوديسي.



الشكل 3-19 النظام المرجعي للإحداثيات أرضية المركز

ينطبق مبدأ الإحداثيات مع مركز المجسم الإهليلجي، ويقع المحور X في مستوى الاستواء من المجسم الإهليلجي ويمر عبر خط الزوال الرئيسي. يمر النصف السالب من المحور X في خط الطول 180 درجة. يقع المحور Y في خط الاستواء أيضاً ولكنه يمر من خط الطول 90 درجة شرق، ويشكل بالتالي زاوية قائمة مع المحور X ، يعني ذلك أن النصف السالب من المحور Y يمر في خط الطول 90 درجة غرب.



الشكل 3-20 النظام المرجعي للإحداثيات أرضية المركز

ينطبق المحور Z مع المحور القطبي للمجسم الإهليلجي، ويمر النصف الموجب منه عبر القطب الشمالي، بينما يمر النصف السالب منه عبر القطب الجنوبي، ويشكل المحور Z زاوية قائمة مع كلا المحورين X و Y.

الترتيب القياسي للإحداثيات في نظام الإحداثيات الديكارتية هو الإحداثي X يليه الإحداثي Y يليه الإحداثي Z.

يطلق على نظام الإحداثيات الديكارتية في بعض المصادر مصطلح ثابت ومتمركز مع الأرض (earth-centered, earth-fixed: ECEF)، حيث النقطة (0,0,0) مركز الأرض.

تأتي أهمية النظام المرجعي للإحداثيات أرضية المركز من استخدامه نظاماً وسيطاً في تحويل الإحداثيات بين المراجع الجيوديسية، وتقوم هذه الطرق بتحويل الإحداثيات الجغرافية إلى أرضية المركز أولاً وإجراء التحويل إلى المرجع الجيوديسي الهدف، ثم تحويل الإحداثيات أرضية المركز الناتجة من عملية التحويل إلى إحداثيات جغرافية مرة أخرى. كما أن النظام المرجعي للإحداثيات أرضية المركز مستخدم في النظام العالمي لتحديد المواقع (GPS).

يشار إلى النظام المرجعي للإحداثيات أرضية المركز في النص المعروف (WKT) اختصاراً بـ GEOCCS، ويوضح المثال التالي النظام المرجعي للإحداثيات أرضية المركز المسمى Yemen NGN96 والمستخدم في اليمن:

```
GEOCCS["Yemen NGN96",
  DATUM["Yemen National Geodetic Network 1996",
    SPHEROID["WGS 84",6378137.0,298.257223563,
      AUTHORITY["EPSG","7030"]],
    TOWGS84[0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0],
    AUTHORITY["EPSG","6163"]],
  PRIMEM["Greenwich",0.0,
    AUTHORITY["EPSG","8901"]],
  UNIT["m",1.0],
  AXIS["Geocentric X",OTHER],
  AXIS["Geocentric Y",EAST],
  AXIS["Geocentric Z",NORTH],
  AUTHORITY["EPSG","4980"]]
```

لاحظ أن المرجع الجيوديسي في هذا النظام والمسمى Yemen National Geodetic Network 1996 يعتمد المجسم الإهليلجي 84 WGS، وتوضح العبارة TOWGS84 وسطاء (parameters) الانتقال والدوران وتغيير الحجم اللازمة لتحويل الإحداثيات بينه وبين المرجع

الجيوديسي 84 WGS (انظر 5.2.1.2 طريقة Helmert)، وتشير قيم الوسطاء المذكورة إلى أنه يمكن استخدام قياسات GPS مع هذا النظام مباشرة بدون تحويل.

3.3.4. النظام/الإطار المرجعي الأرضي الدولي (ITRF/ITRS)

يتغير محور دوران الأرض باستمرار وإن ببطء شديد، نتيجة لذلك يتغير نجم الشمال أيضاً بضعة سنتيمترات كل سنة. نجم الشمال في عصرنا الحالي هو نجم الجُذَيّ (Polaris, or Alpha Ursa Minor, or α UMi)، وهو يمثل طرف الذيل في كوكبة الدب الأصغر. في المستقبل ستنتقل هذه الوظيفة إلى نجوم أخرى أقرب إلى محور دوران الأرض لفترة طويلة جداً، قبل أن يعود الجُذَيّ ليصبح نجم الشمال مرة أخرى في العام 27800 م.

يتغير مركز كتلة الأرض أيضاً نتيجة لحركة الصفائح القارية، وبما أن محور الأرض ومركز كتلتها يتغيران باستمرار فإن إحداثيات النقاط على سطحها تتغير، وإن كان هذا التغير طفيفاً، ما يعني أن الإحداثيات المسجلة لنقطة ما تصبح غير دقيقة مع مرور الزمن، إذا لم يسجل معها تاريخ قياسها.

وتتضاعف مشكلة تغير الإحداثيات هذه عندما تكون النقاط نقاطاً مرجعية يُنطلق منها لقياس إحداثيات نقاط أخرى، مثل نقاط الشبكة الجيوديسية (انظر 3.6 الشبكة الجيوديسية الوطنية) أو المحطات المرجعية الأرضية لنظام GPS.

وللتغلب على مشكلة الأطر المرجعية الثابتة للإحداثيات التي لا تناسب الأعمال التي تتطلب دقة فائقة، ومن أجل جعل الإحداثيات مفيدة بغض النظر عن التاريخ الذي جمعت فيه ظهرت الحاجة إلى تطوير إطار إحداثيات مرجعي بصورة دورية، وربط الإحداثيات المقيسة عليه بوقت قياسها.

يتولد الإطار المرجعي الأرضي الدولي (International Terrestrial Reference Frame: ITRF) باتباع الإجراءات التي يحددها النظام المرجعي الأرضي الدولي (International Terrestrial Reference System: ITRS) فالنظام المرجعي الأرضي الدولي هو الإجراءات القياسية التي يمكن من خلالها إنشاء الإطار؛ أي تحديد مركزه وحجمه وتوجيه محاوره، أما الإطار المرجعي الأرضي فهو التمثيل الفيزيائي للنظام المرجعي ويكون عبارة عن شبكة من النقاط المنصوبة على الأرض أو المحطات المرجعية الأرضية، ولذلك يوصف الإطار المرجعي بأنه تحقيق (realization) للنظام المرجعي.

تُقاس حركة الصفائح القارية من خلال قياس سرعة (velocity) واتجاه حركة محطات ITRF الأرضية المنتشرة في أنحاء العالم، ويتم تحديد وتحديث مواقع المحطات المرجعية الأرضية بصورة دورية باستخدام تقنيات الجيوديسيا الفضائية التالية:

- **تداخل خط الأساس الطويل جداً (very long base-line interferometry: VLBI):** إحدى تقنيات التداخل الراديوي المستخدمة في علم الفلك وتعتمد مراقبة كائن واحد من مجموعة من محطات المراقبة التي تفصل بينها مسافات كبيرة ومن ثم تجميع الإشارات المسجلة في مكان واحد ومعالجتها حاسوبياً. يمكن الوصول بهذه التقنية إلى قياسات دقيقة جداً لأن مجموعة محطات المراقبة تعمل وكأنها محطة مراقبة واحدة عملاقة.
- **سبر القمر بالليزر (lunar laser ranging: LLR):** تقنية لقياس المسافة بين الأرض والقمر باستخدام الليزر. يُوجه الليزر من الأرض على عواكس مزروعة على سطح القمر وتُحسب المسافة بناءً على الوقت الذي يحتاجه الضوء المنعكس للعودة.
- **نظام تحديد المواقع العالمي (GPS)**
- **سبر الأقمار الاصطناعية بالليزر (satellite laser ranging: SLR):** تقنية تعتمد على قياس الوقت الذي تستغرقه نبضات فائقة القصر (ultra-short) من الضوء للوصول إلى عواكس مثبتة على الأقمار الاصطناعية، ما يوفر قياسات فورية دقيقة تصل دقتها إلى عدة ملليمترات. تستخدم تقنية سبر الأقمار الاصطناعية بالليزر في تحديد موقع القمر الاصطناعي بالنسبة لمركز الأرض، كما تستخدم في الأبحاث العملية المختلفة.
- **رسم المدارات والتحديد الراديوي للمواقع بدوبلر المدمجة في القمر الاصطناعي (Doppler orbitography and radiopositioning integrated by satellite: DORIS):** نظام فرنسي لتحديد المواقع ومدارات الأقمار الاصطناعية بالاعتماد على ظاهرة دوبلر (عندما يرصد المشاهد الثابت التغير في الطول الموجي للموجات القادمة إليه من مصدر صوتي أو ضوئي يستطيع تحديد ما إذا كان الجسم يقترب أو يبتعد، ويسمى التغير الظاهري في التردد ظاهرة دوبلر أو تأثير دوبلر نسبة لدوبلر الذي اكتشف هذه الظاهرة في العام 1842).

عندما يتم تحقيق الإطار المرجعي الأرضي الدولي (ITRF) باتباع الإجراءات القياسية في النظام المرجعي الأرضي الدولي يُربط الإطار بالتاريخ الذي تم تحقيقه أي إنشاؤه فيه، ولذلك تحمل الأطر المرجعية أسماء مثل ITRF2000 و ITRF2005، الخ. المرجع ITRF2008 هو آخر إصدارات النظام المرجعي الأرضي الدولي (كانون الثاني/يناير 2011)، ويستخدم الإجراءات ذاتها المتبعة في تشكيل ITRF2005، ولكنه أكثر دقة منه.

بالنسبة لمستخدمي التقنيات المكانية يمكن وصف الأطر ITRF بأنها أنظمة مرجعية للإحداثيات أرضية المركز مبنية على مراجع جيوديسية مختلفة تعتمد جميعها على الجسّم الإهليلجي GRS 1980

الذي أقره الاتحاد العالمي للجيوديسيا والجيوفيزياء (International Union of Geodesy and Geophysics: IUGG) العام 1979، والنص المعروف (WKT) أدناه يصف النظام المرجعي للإحداثيات أرضية المركز ITRF2005 المبني على المرجع ITRF2005:

```
GEOCCS["ITRF2005",
  DATUM["International Terrestrial Reference Frame 2005",
    SPHEROID["GRS 1980",6378137.0,298.257222101,
      AUTHORITY["EPSG","7019"]],
    AUTHORITY["EPSG","6896"]],
  PRIMEM["Greenwich",0.0,
    AUTHORITY["EPSG","8901"]],
  UNIT["m",1.0],
  AXIS["Geocentric X",OTHER],
  AXIS["Geocentric Y",EAST],
  AXIS["Geocentric Z",NORTH],
  AUTHORITY["EPSG","4896"]]
```

يسمى خط الزوال في النظام المرجعي خط الزوال المرجعي الدولي (International Reference Meridian: IRM) أو خط زوال IERS المرجعي، كما يسمى القطب في النظام المرجعي القطب المرجعي الدولي (International Reference Pole: IRP) ويتم تحديده كل عدة سنوات نتيجة لتغير محور دوران الأرض من خلال القياسات الجيوديسية الدقيقة.

وبما أن المرجع الجيوديسي WGS 84 يستخدم مركز كتلة الأرض مبدأ للإحداثيات، وبما أن هذا المركز ليس موقعاً جغرافياً ثابتاً بل يتغير نتيجة لعوامل مختلفة منها حركة الصفائح القارية، تم تعديل المرجع الجيوديسي WGS 84 عدة مرات بتحديث الإحداثيات القديمة لمحطات GPS الأرضية وتحويلها بالاعتماد على ITRF، ونتيجة لذلك يرتبط الآن المرجع الجيوديسي WGS 84 بالإطار المرجعي الأرضي الدولي (انظر 3.3.1.3 المرجع الجيوديسي WGS 84).

تقوم هيئة "الخدمات الدولية لدوران الأرض والأنظمة المرجعية" (International Earth Rotation and Reference Systems Service: IERS) بصيانة حلول ITRS و ITRF. وتوفر وسطاء (parameters) التحويل بين كل إطار جديد والأطر السابقة له (انظر 5.2 تحويل الإحداثيات و 5.2.1.2 طريقة Helmert).

توفر IERS معلومات ITRF في هيئة نصية تسمى SINEX يمكن الحصول عليها من موقعها على إنترنت. وتتضمن هذه المعلومات قائمة بالمحطات المرجعية الأرضية المستخدمة في الإطار وتبين لكل محطة إحداثياتها أرضية المركز (X, Y, Z) بالمتر، بالإضافة إلى سرعتها (DX, DY, DZ) بالمتر/السنة

نتيجة لحركة الصفائح القارية، مع تقدير درجة الدقة في تلك القيم. وللحصول على إحداثيات إحدى هذه المحطات في أي وقت آخر يضاف إلى إحداثياتها المبينة في الإطار المسافة التي تقطعها نتيجة لسرعتها.



تتيح الأداة HTDP (Horizontal Time-Dependent Positioning) تحويل الإحداثيات عبر الزمن وبين الأطر المرجعية المكانية بالاعتماد على نماذج مختلفة لحركة القشرة الأرضية والدراسات الزلزالية في غربي الولايات المتحدة وبقية العالم. تتيح هذه الأداة للمستخدمين تنفيذ مهام رئيسية منها تقدير سرعة القشرة الأرضية الأفقية، وتقدير انزياح القشرة الأرضية بين تاريخين، وتحويل الإحداثيات بين إطارين مرجعيين (بما في ذلك جميع إصدارات ITRF وإصدارات WGS 84) أوبين تاريخين. تتوفر نسخة تنفيذية من الأداة يمكن تنزيلها من موقع NOAA بالإضافة إلى نسخة فورية على ويب:

<http://www.ngs.noaa.gov/TOOLS/Htdp/Htdp.shtml>

يمكن الحصول على خدمات IERS من الرابط:

<http://itrf.ensg.ign.fr>

3.3.5. النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية في برامج نظام المعلومات الجغرافية

يتوفر في معظم برامج نظام المعلومات الجغرافية ونظام تحديد المواقع العالمي والمساحة مكتبة مبنية من الأنظمة المرجعية للإحداثيات الجغرافية، وتقوم الشركات المطورة للبرمجيات بتضمين قاعدة البيانات هذه في برمجياتهم، كما تواظب على تحديثها مع إضافة أية أنظمة جديدة في قاعدة بيانات EPSG.

3.3.5.1 إعداد بيئة العمل

يعني إعداد بيئة العمل في ArcGIS و AutoCAD Map 3D إنشاء ملف خريطة (map file) جديد، وتعيين أحد الأنظمة المرجعية للإحداثيات الجغرافية ليكون النظام المرجعي لملف الخريطة. بعد ذلك يمكن إضافة البيانات المكانية من مصادر مختلفة وسيقوم ArcGIS و AutoCAD Map

3D بتحويلها تلقائياً إلى نظام إحداثيات ملف الخريطة بحيث تتراكب بصورة صحيحة. لا تُدخل أية تعديلات على إحداثيات البيانات الأصلية، لأن ArcGIS و AutoCAD Map يقومان بذلك لحظياً (on the fly) لأغراض العرض فقط. بالإضافة إلى ذلك، يعني إعداد بيئة العمل أن قيم الإحداثيات التي يدخلها المستخدم أثناء إنشاء بيانات مكانية جديدة في ملف الخريطة يتم تسجيلها حسب هذا النظام.

يمكن تعيين نظام مرجعي للإحداثيات الجغرافية لملف الخريطة بطريقة أخرى وذلك باستيراد بيانات مكانية تتضمن نظاماً مرجعياً للإحداثيات الجغرافية. بعد استيراد هذه البيانات المكانية يقوم ArcGIS و AutoCAD Map 3D بتعيين النظام المرجعي ذاته لإحداثياتها إلى ملف الخريطة تلقائياً. وإذا لم يكن النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية متوفراً في مكتبة البرنامج، يمكن للمستخدم أيضاً إنشاء نظام مرجعي جديد للإحداثيات الجغرافية في البرنامج الذي يستخدمه في الحالات التي تتطلب ذلك، وهي حالات نادرة جداً. إحدى التحديات التي ستواجه المستخدم عند إنشاء نظام مرجعي جديد للإحداثيات الجغرافية مهمة تعريف عمليات التحويل على البيانات المطلوبة بين هذا النظام الجديد والأنظمة الشائعة (انظر 5.2 تحويل الإحداثيات).

3.3.5.1.1 انتقاء نظام مرجعي للإحداثيات الجغرافية

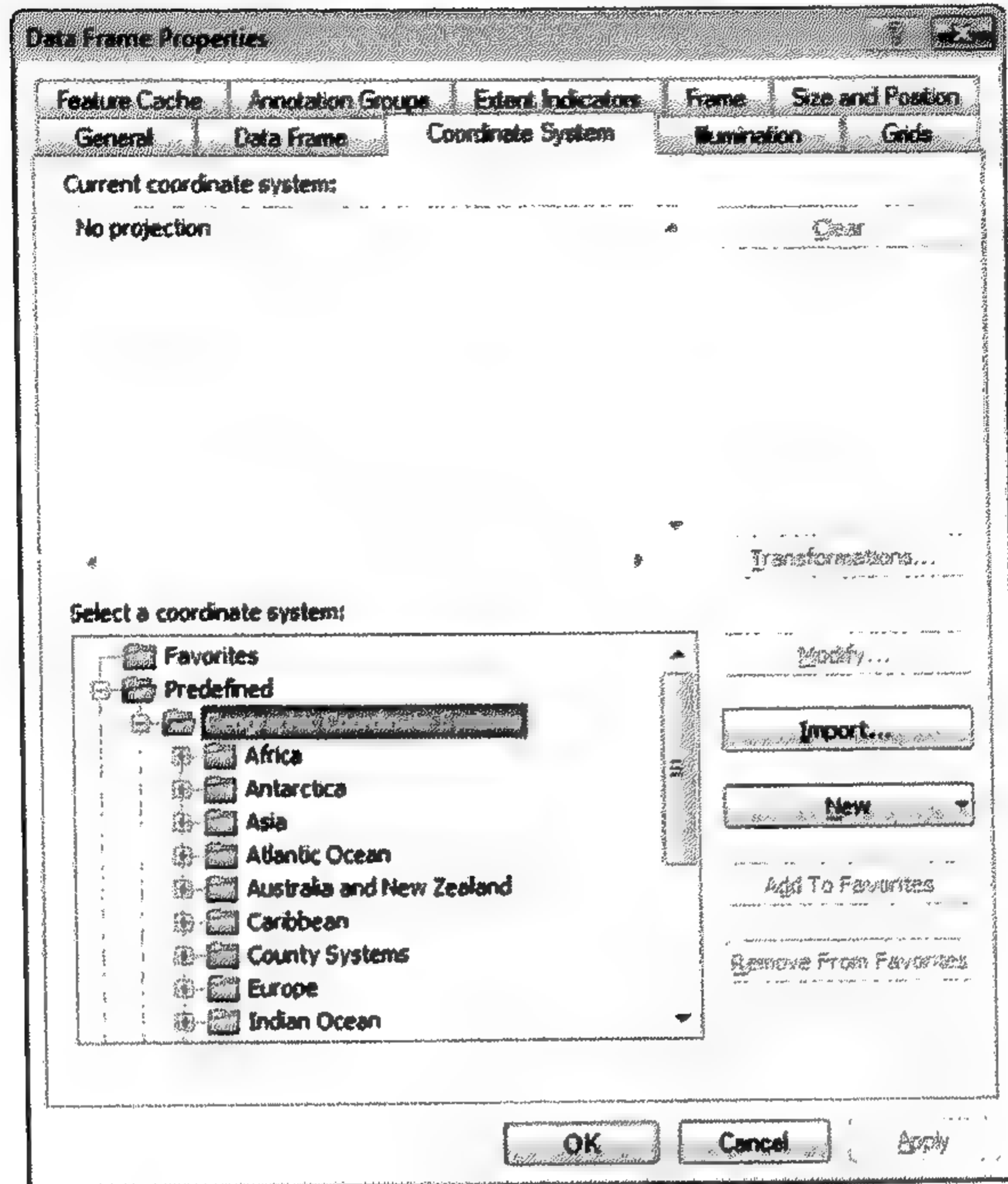
كما مر معنا سابقاً، لا يكفي معرفة قيمة الإحداثيات لتحديد موقع نقطة تحديداً دقيقاً وفريداً، إذ يتطلب استخدام البيانات المكانية معرفة نظام الإحداثيات المرجعي الذي قيس فيه هذه الإحداثيات (انظر 1.3.3 كيف نعبر عن الإحداثيات).

لذلك يتطلب العمل في برامج وأنظمة المعلومات الجغرافية إعداد بيئة العمل فيها أولاً بتحديد نظام الإحداثيات المرجعي لملف الخريطة، ويكون ذلك بانتقاء نظام الإحداثيات من مكتبة الأنظمة المرجعية المتوفرة في البرنامج أو النظام الذي نعمل عليه. وعندما نقوم بإنشاء البيانات المكانية بإدخال إحداثياتها يقوم النظام بتوقيع هذه البيانات في مواقعها الصحيحة.



لإعداد بيئة العمل في ArcGIS يمكن انتقاء نظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية من خلال مربع حوار خصائص إطار البيانات:

View > Data Frame Properties... > Coordinate System



الشكل 21-3 صندوق حوار خصائص إطار البيانات في ArcGIS

في القسم Select a coordinate system انتق Predefined ثم Geographic Coordinate Systems، ثم انتقل إلى المجموعة التي تتضمن النظام المرجعي الذي تنوي استخدامه وقم بانتقائه.

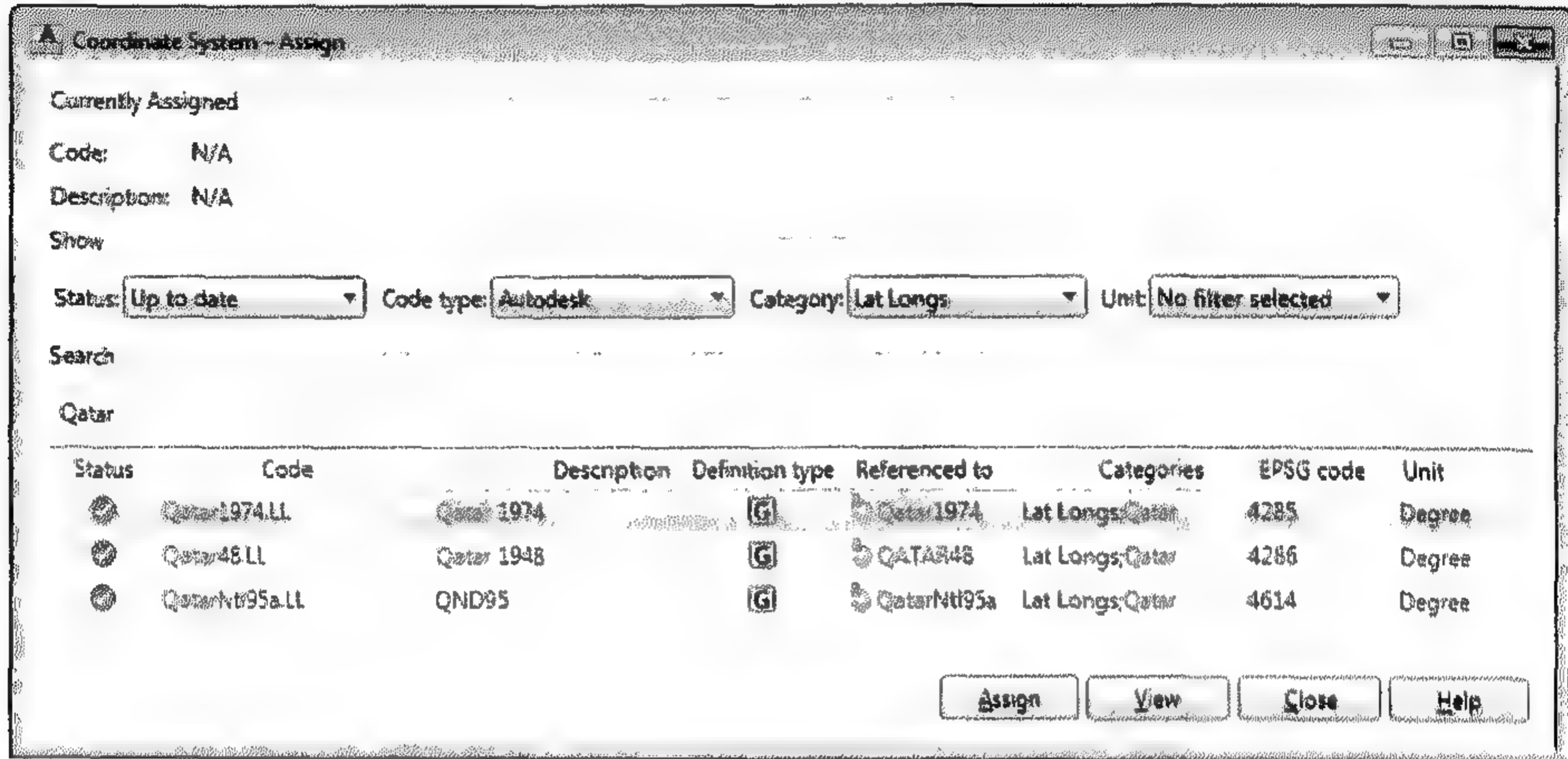
AutoCAD® Map 3D

يعني إعداد بيئة العمل في AutoCAD Map 3D إنشاء ملف خريطة (map file) جديد، وهو ملف رسم (drawing file) يُنشأ بالاعتماد على أحد قوالب الخريطة المتوفرة في البرنامج. يُعيّن نظام الإحداثيات المرجعي لملف الخريطة الحالي باستخدام الأمر Assign Global Coordinate System:

Ribbon: Map Setup > Coordinate System > Assign
Command: MAPCSASSIGN

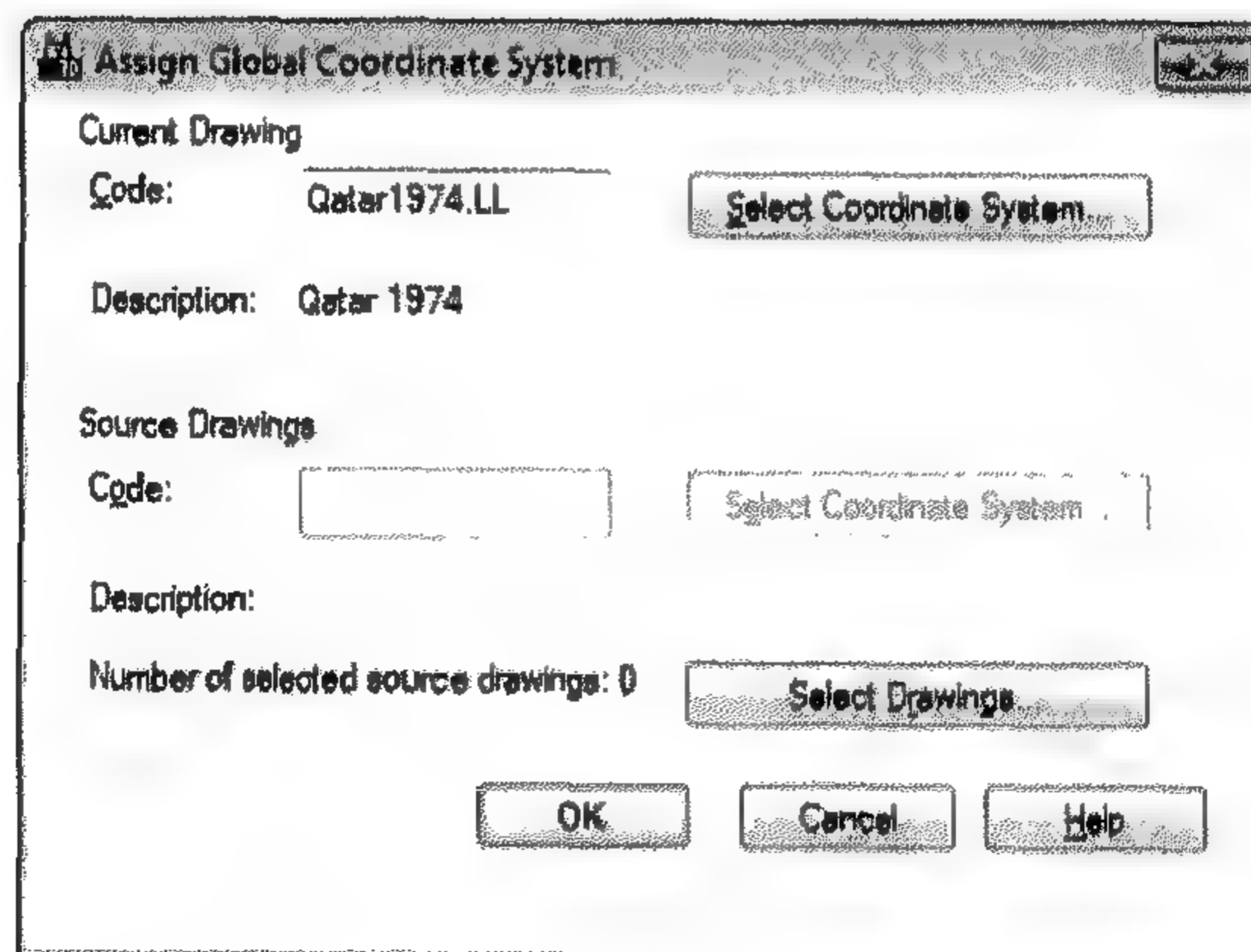
في مربع الحوار Assign Coordinate System يمكن انتقاء نظام الإحداثيات من مكتبة الأنظمة المرجعية في AutoCAD Map 3D كما يمكن استخدام المرشحات (filters) وإدخال

جزء من اسم نظام الإحداثيات الجغرافية لترشيح عدد الأنظمة المرجعية التي تظهر في المكتبة. المثال التالي يبحث عن الأنظمة الجغرافية المستخدمة في قطر بإدخال Qatar في مربع البحث وتحديد Lat Longs في القائمة المنسدلة Category:



الشكل 22-3 صندوق حوار Coordinate System - Assign في AutoCAD Map 3D

في الإصدارات الأقدم من أوتوكاد يمكن استخدام الأمر ADESETCRDSYS لتعيين نظام الإحداثيات المرجعي لملف الخريطة الحالي. في مربع الحوار Assign Global Coordinate System يمكن تحديد نظام الإحداثيات في القسم Current Drawing بإدخال رمز (Code) نظام الإحداثيات في AutoCAD Map 3D أو بالنقر فوق زر Select Coordinate System وانتقاء نظام الإحداثيات الجغرافي من المكتبة.



الشكل 23-3 صندوق حوار Assign Global Coordinate System في AutoCAD Map 3D

3.3.5.1.2 إنشاء نظام مرجعي جديد للإحداثيات الجغرافية

مشروع:

قام أبو الريحان البيروني (Abū Rayhān al-Bīrūnī) في العام 1023 بقياس نصف قطر الأرض بطريقة المثلثات وكانت نتيجة القياس قريبة جداً من القياسات الحديثة، ويراد إنشاء نظام مرجعي للإحداثيات الجغرافية نسميه 1023 Biruni مبني على قياسات أبو الريحان البيروني لنصف قطر الأرض، حيث $a = b = 6,339,600.00 \text{ m}$ وبالتالي $f = 0$.

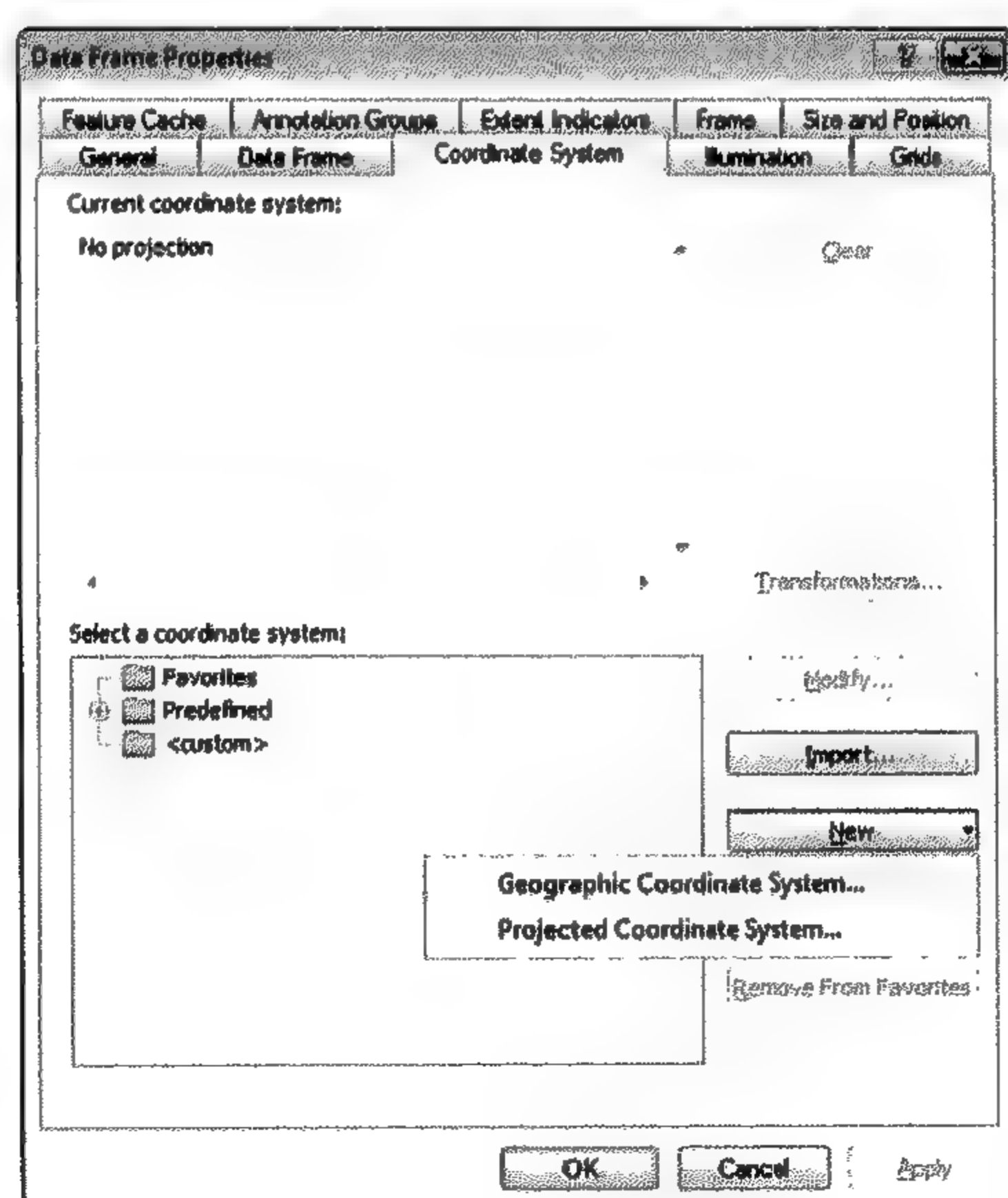
يمر خط الزوال الرئيسي في كاث (Kath) في خوارزم (أوزبكستان حالياً) التي ولد فيها البيروني، والتي تسمى الآن بيروني (Beruni) تخليداً لاسمه، حيث زاوية خط الطول في كاث:

$$\lambda = 60^{\circ}44'35.7066''E = 60.743252^{\circ}$$

الحل:

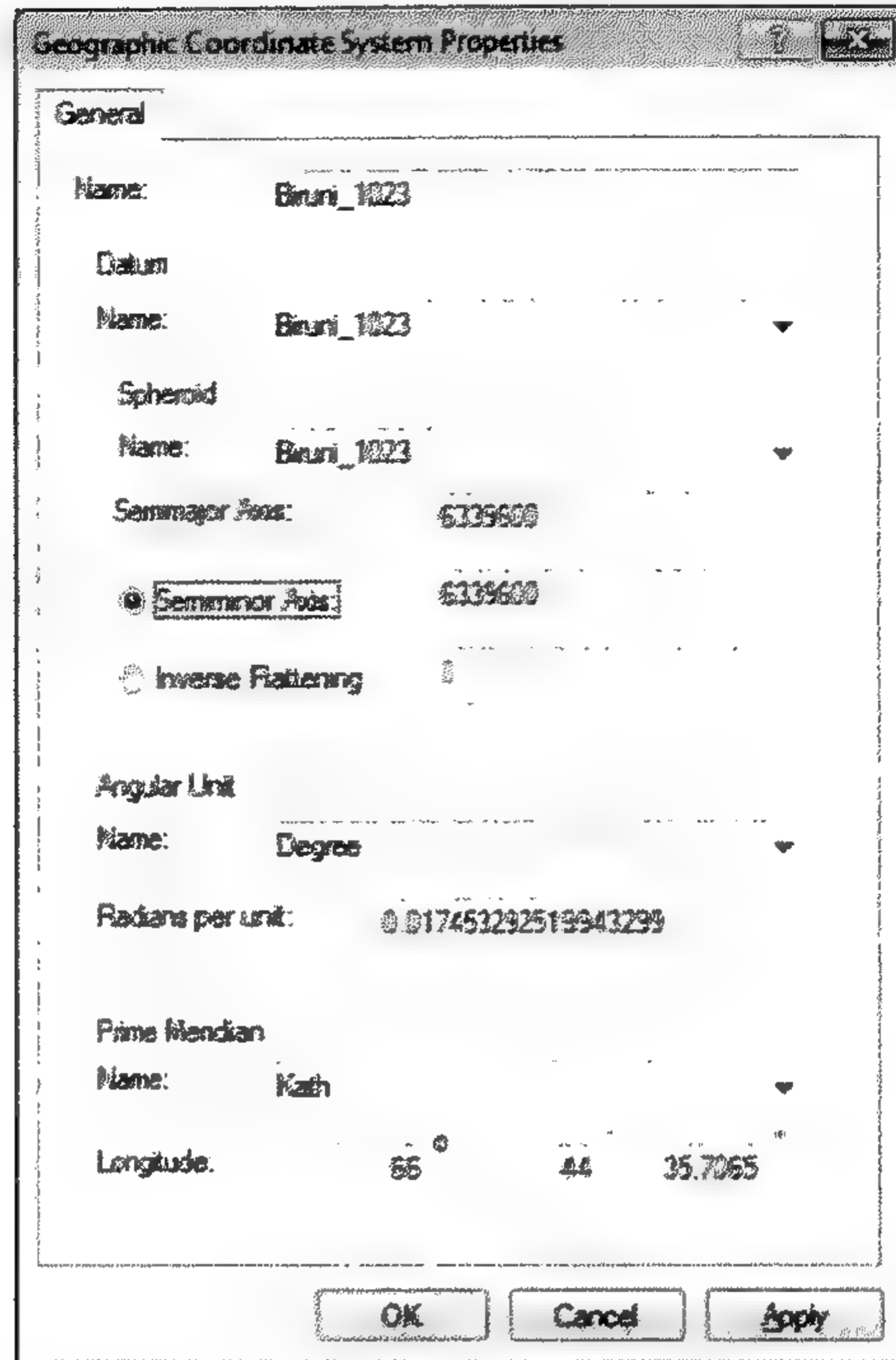


يمكن إنشاء نظام مرجعي للإحداثيات الجغرافية في ArcGIS من خلال مربع حوار خصائص إطار البيانات:



الشكل 3-24 صندوق حوار خصائص إطار البيانات في ArcGIS

ندخل معلومات النظام المرجعي الجديد كما يلي:



الشكل 25-3 معلومات النظام المرجعي Biruni 1023 في ArcGIS

بعد النقر على زر موافق، والعودة إلى صندوق الحوار السابق، يمكن حفظ نظام الإحداثيات الجديد بالنقر فوق زر Add To Favorites. يقوم ArcGIS بحفظ النظام في ملف في هيئة PRJ في المجلد: C:\Users\YourName\AppData\Roaming\ESRI\Desktop10.0\ArcMap\Coordinate Systems

وهو ملف نصي يمكن منه قراءة صيغة النص المعروف (WKT) من هذا النظام:

```
GEOGCS["Biruni_1023",DATUM["Biruni_1023",SPHEROID["Biruni_1023",6339600.0,0.0]],PRIMEM["Kath",66.7432518333333],UNIT["Degree",0.0174532925199433]]
```

..... **AutoCAD®**
Map 3D

يمكن إنشاء نظام إحداثيات مرجعي في AutoCAD Map 3D باستخدام الأمر Define Global Coordinate System:

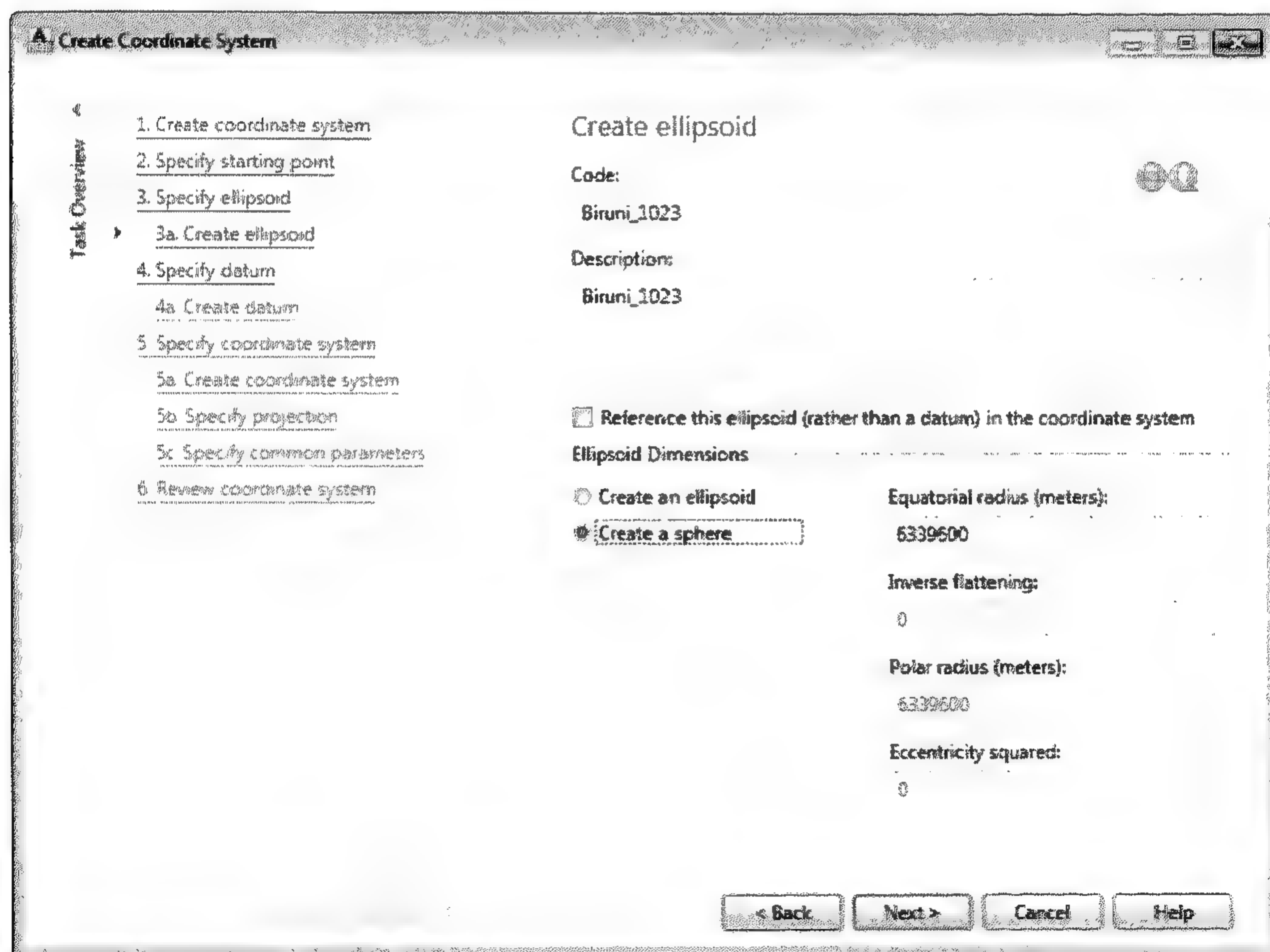
Ribbon: Map Setup > Coordinate System > Define

Command: ADEDEFCRDSYS

ملاحظة: يتطلب إنشاء نظام مرجعي جديد في AutoCAD Map 3D صلاحية إدارية، ويمكن تسجيل الدخول بهذه الصلاحيات باستخدام الأمر MAPLOGIN أو بالنقر فوق أيقونة البرنامج بزر الفأرة الأيمن واختيار Run as administrator، أو بمنح المستخدم إذن (permission) تعديل المجلد:

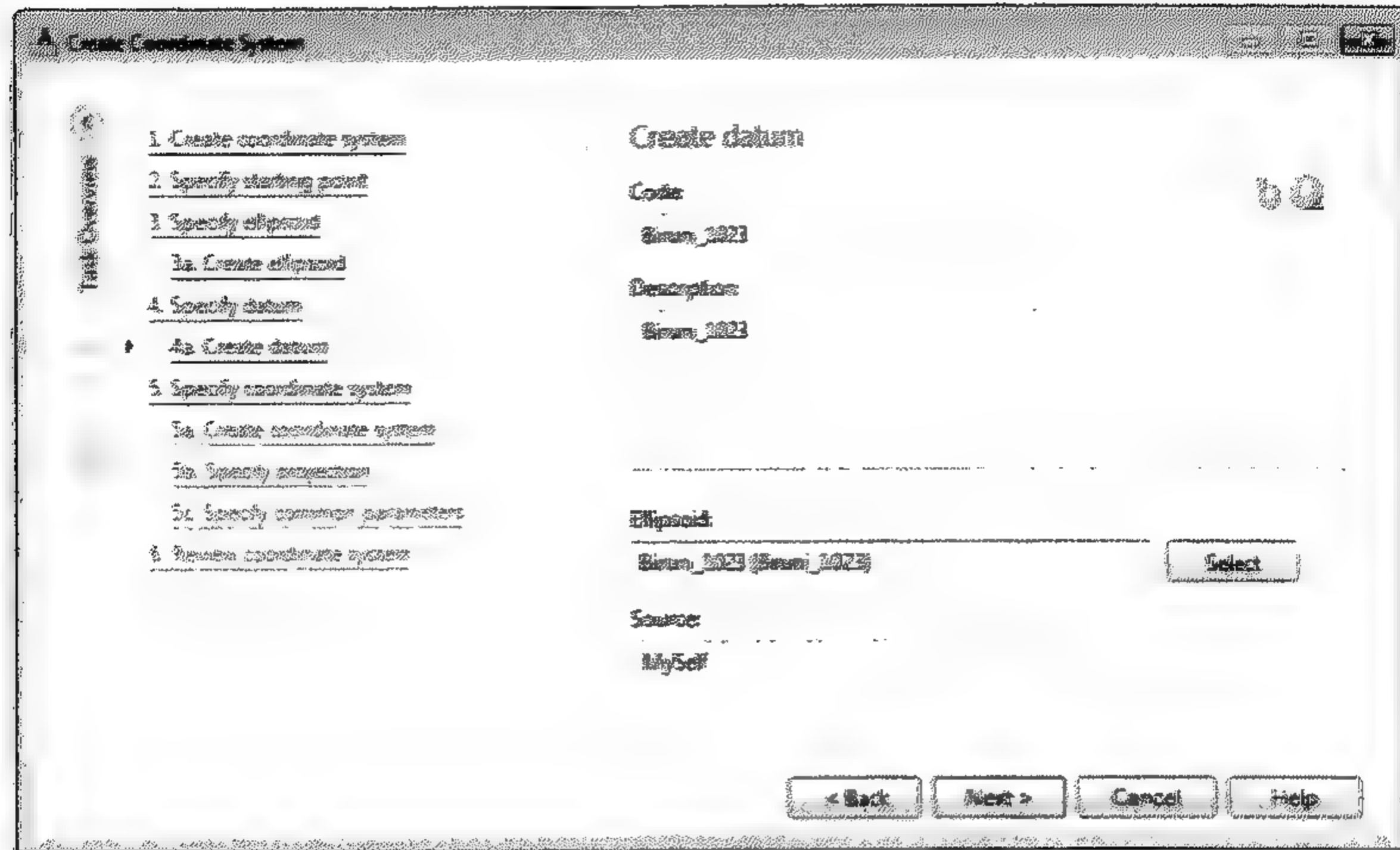
C:\ProgramData\Autodesk\Geospatial Coordinate Systems

يمكن في AutoCAD Map 3D إنشاء النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية 1023 Biruni باستخدام معالج (wizard) إنشاء النظام المرجعي:



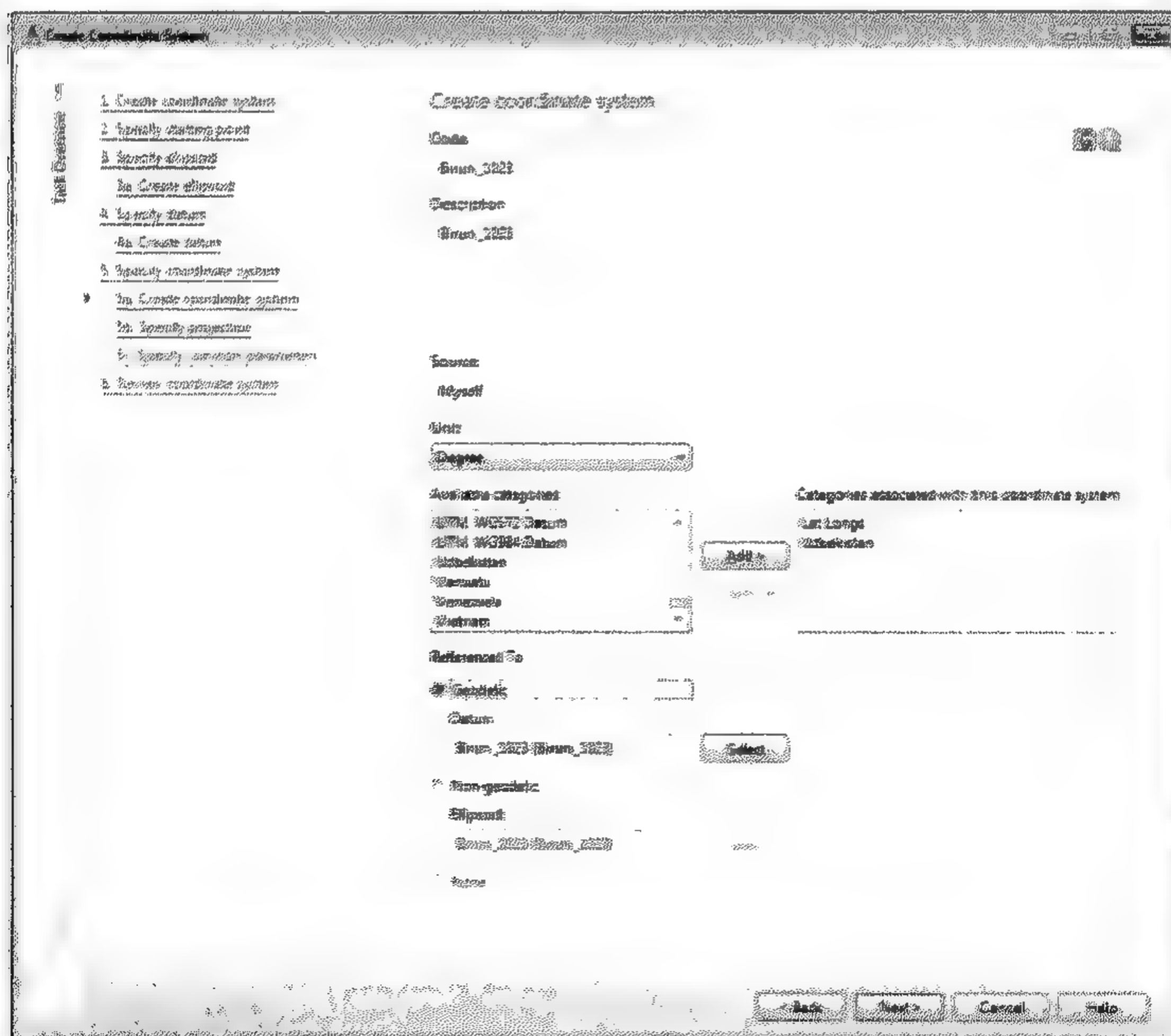
الشكل 3-26 إنشاء المجسم الإهليلجي في معالج إضافة نظام مرجعي في AutoCAD Map 3D

في النافذة التالية انتق Create a new datum وانقر فوق الزر Next، ثم أدخل رمز المرجع الجيوديسي الجديد وشرحاً عنه، وحدد مصدر معلومات هذا المرجع في مربع الإدخال Source.



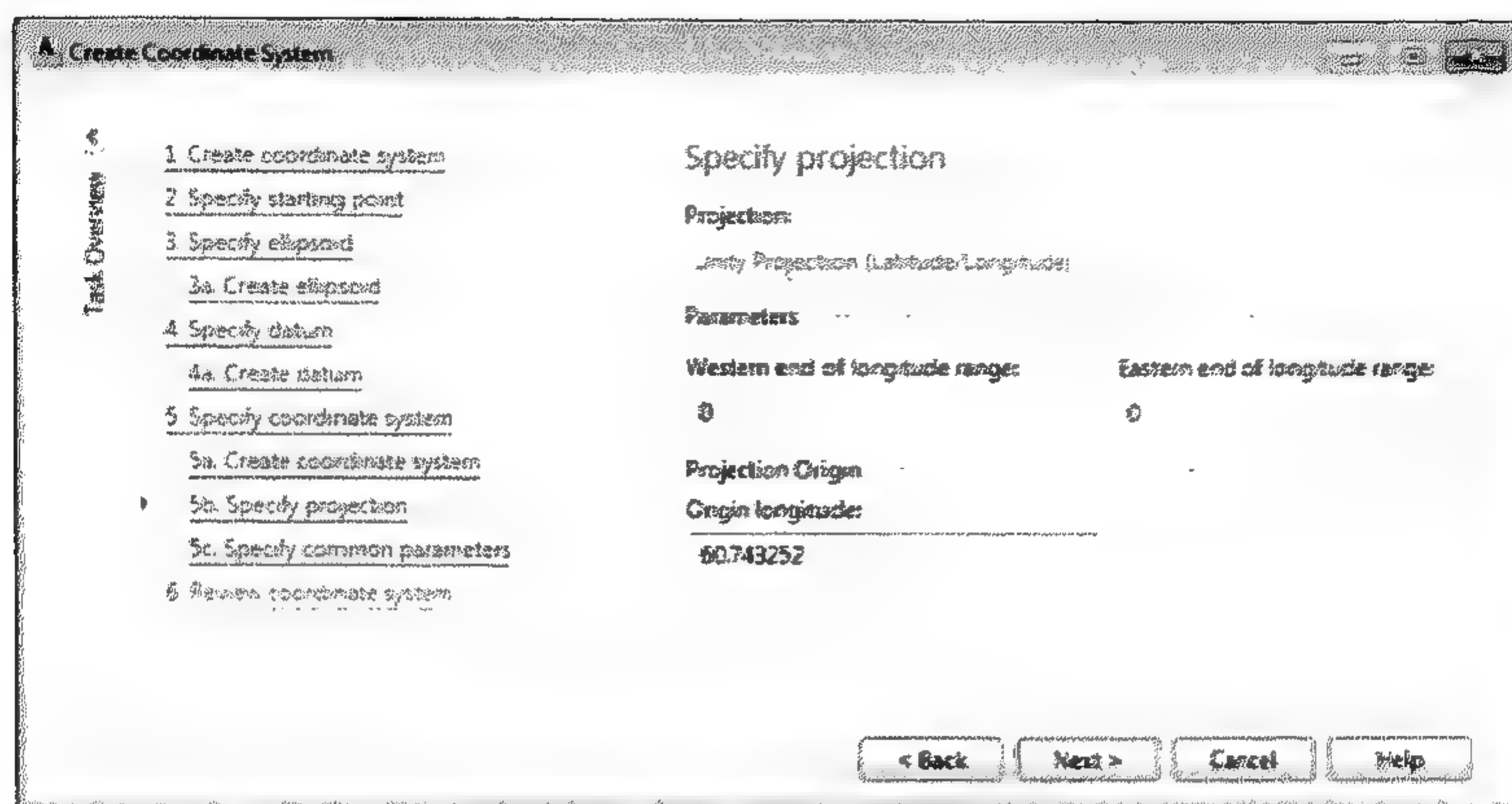
الشكل 27-3 إنشاء المرجع الجيوديسي

انقر فوق الزر Next وفي النافذة التالية انتق Geographic من القائمة المنسدلة Coordinate System Type، وانقر فوق الزر Next. في النافذة التالية أدخل رمز النظام الجديد وشرحاً عنه، وقم بإضافة الفئتين Lat Long وUzbekistan إلى النظام الجديد (تقع كاث حالياً في أوزبكستان)، وهي ميزة مفيدة لتنظيم الأنظمة المرجعية للإحداثيات في مجموعات:



الشكل 28-3 إنشاء النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية Biruni 1023

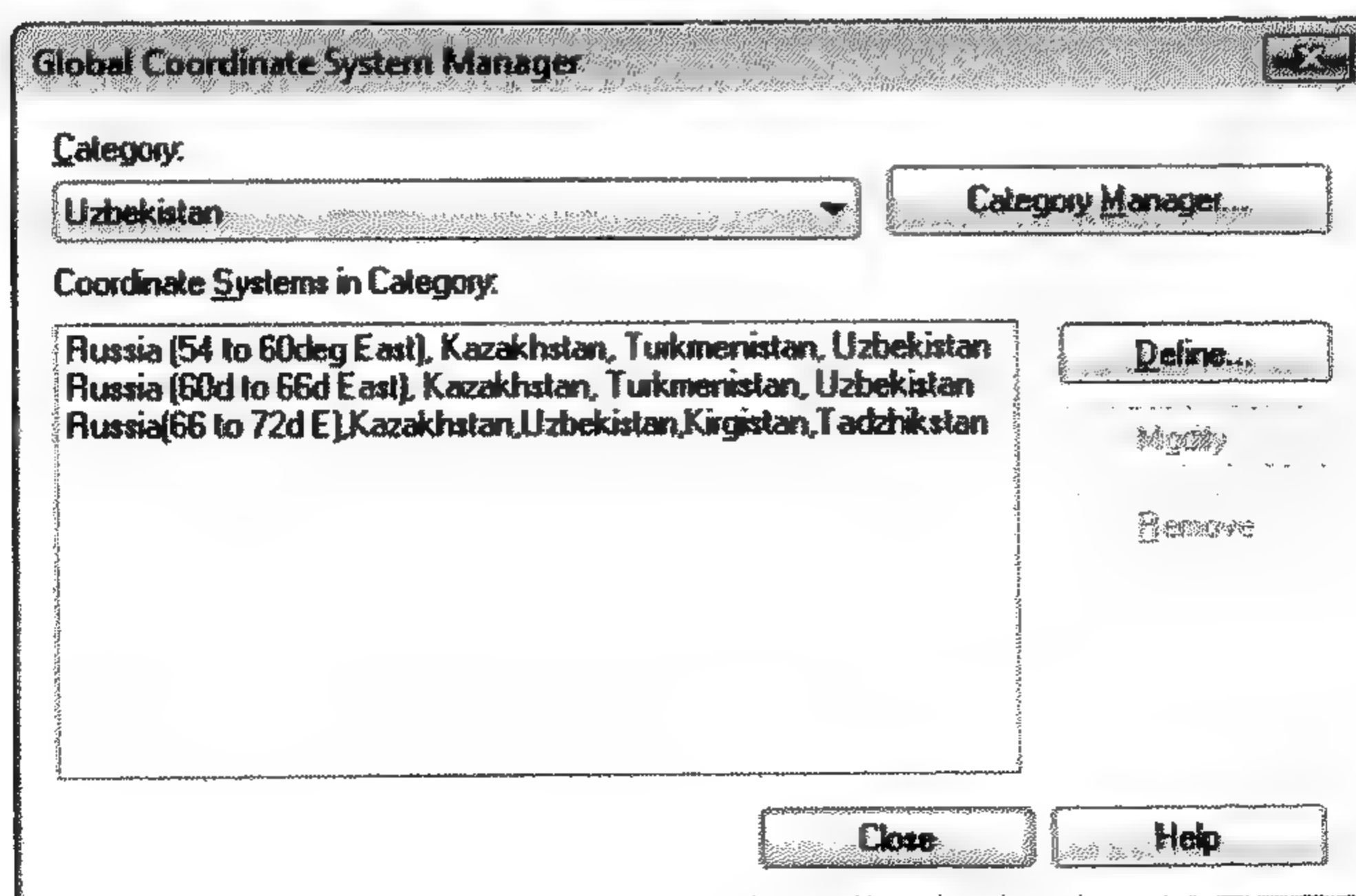
يتطلب أوتوكاد تعريف نظام الإسقاط الخاص بالنظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية، ويكون ذلك بالانتقال إلى النافذة التالية وانتقاء Unity Projection نظراً لأن النظام الذي نقوم بإنشائه نظام جغرافي ولا نرغب في تعريف نظام إسقاط خاص به (انظر 4.11.2 إنشاء نظام مرجعي جديد للإحداثيات المسقطة)، مع إدخال خط طول كاث في مربع الإدخال Origin Latitude:



الشكل 3-29 إدخال وسطاء الإسقاط للنظام المرجعي الجديد

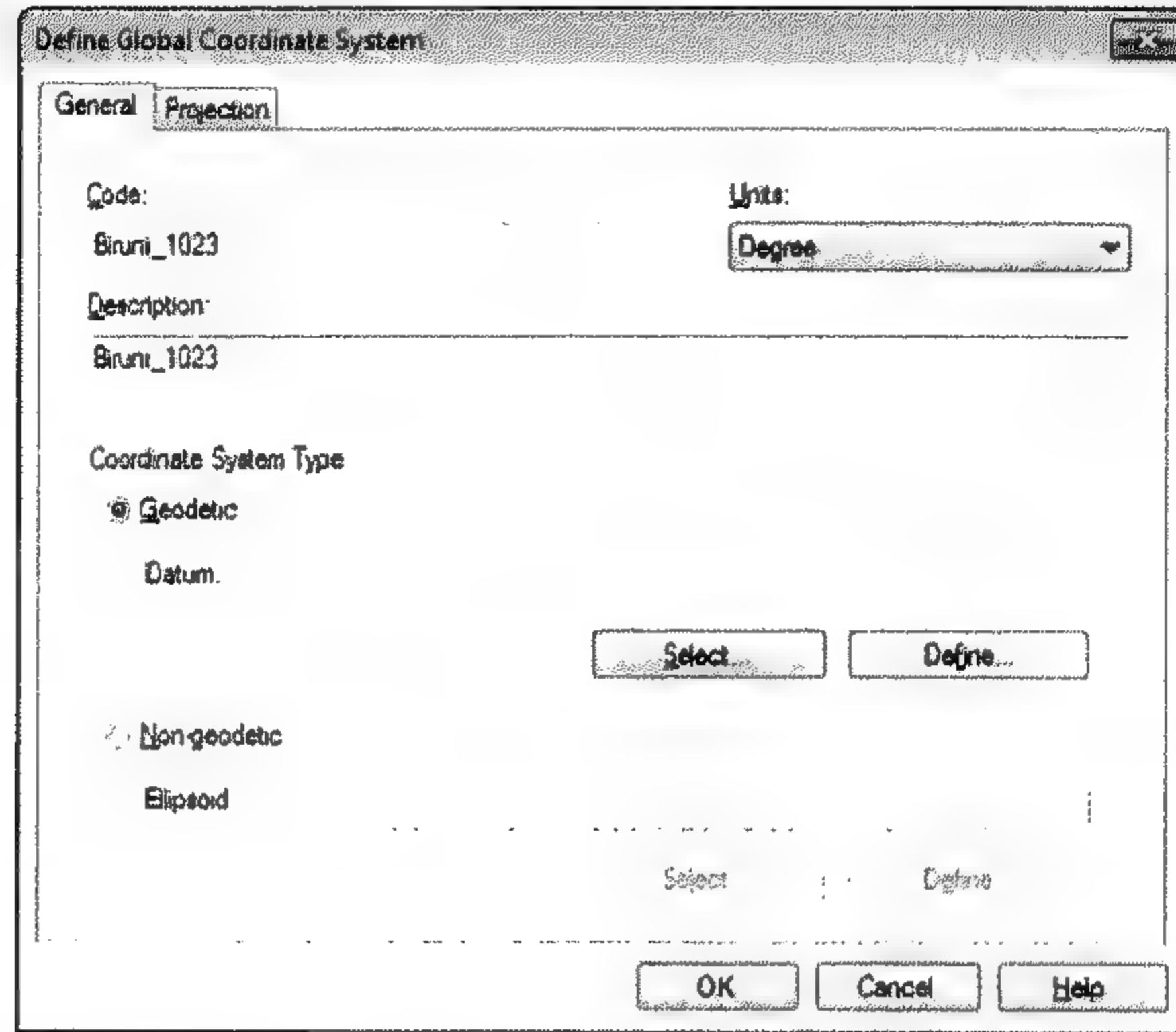
في النافذة التالية أدخل 1 في مربع الإدخال Scale وقم بحفظ النظام المرجعي الجديد.

في الإصدارات الأقدم من أوتوكاد يمكن استخدام الأمر ADEDEFCRDSYS لإنشاء النظام المرجعي الجديد. في مربع الحوار Global Coordinate System Manager يمكن اختياراً إنشاء نظام مرجعي للإحداثيات الجغرافية تحت فئة محددة. لحفظ النظام الذي نقوم بإنشائه في الفئة الخاصة بأوزبكستان نختار Uzbekistan من القائمة المنسدلة Category.



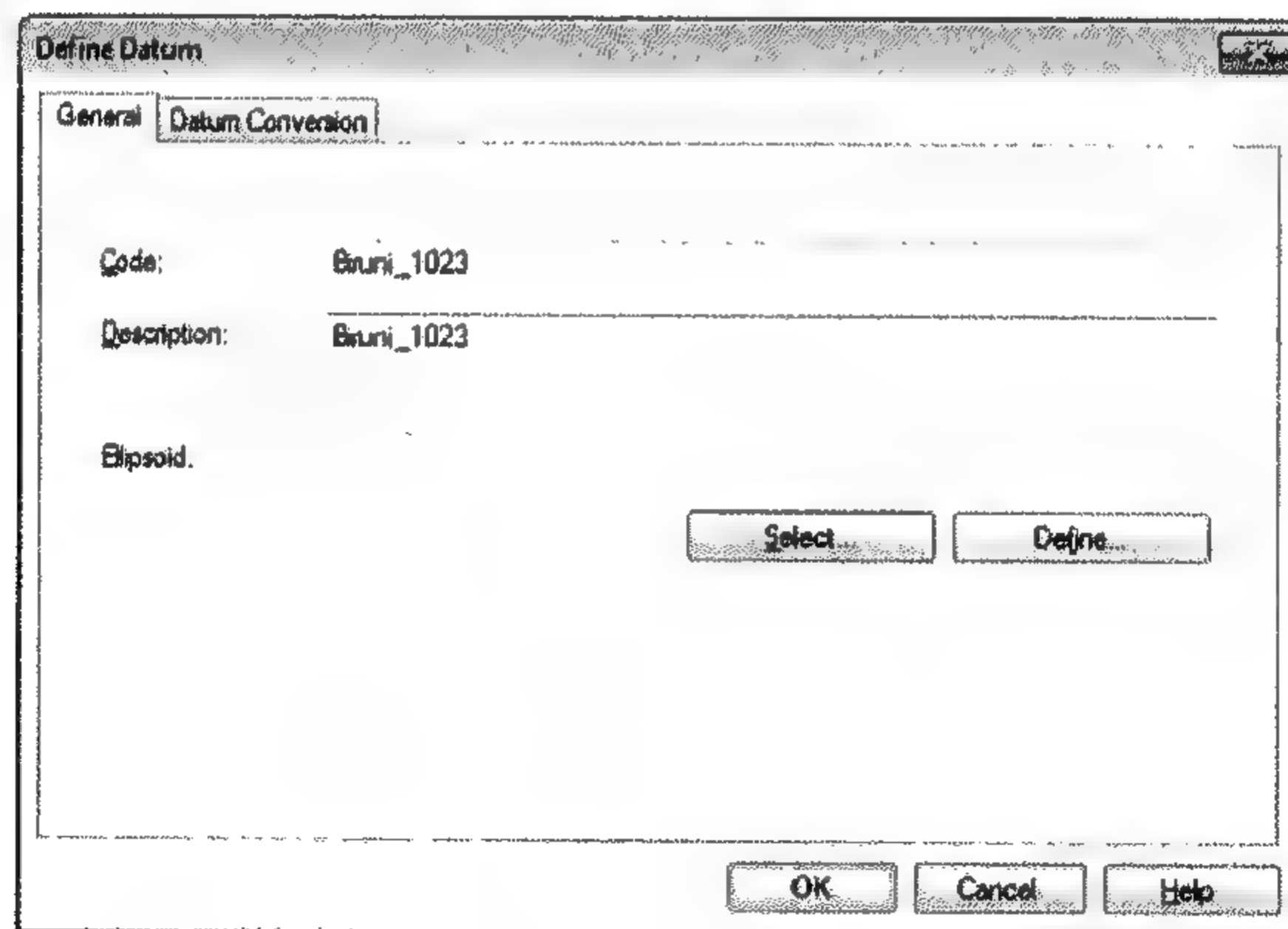
الشكل 3-30 صندوق حوار Global Coordinate System Manager

يُعرف النظام الجديد بالنقر فوق الزر Define:



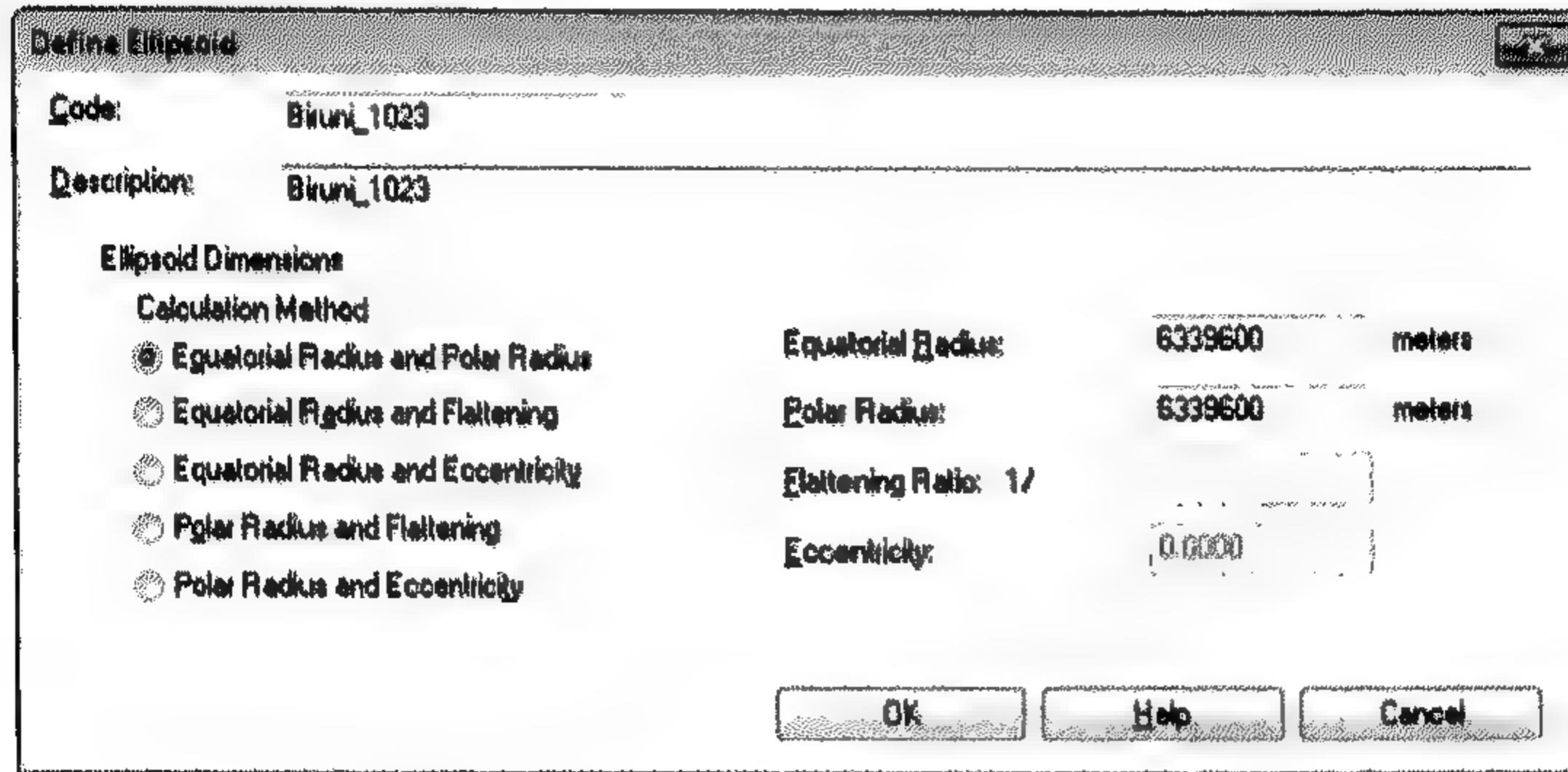
الشكل 31-3 صندوق حوار Define Global Coordinate System

في صندوق الحوار Define Global Coordinate Systems أدخل رمز النظام الجديد وشرحاً عنه، وحدد الدرجة وحدة قياس له نظراً لأنه نظام جغرافي. لتعريف مرجع جيوديسي جديد انقر فوق الزر Define في Geodetic.



الشكل 32-3 صندوق حوار Define Datum

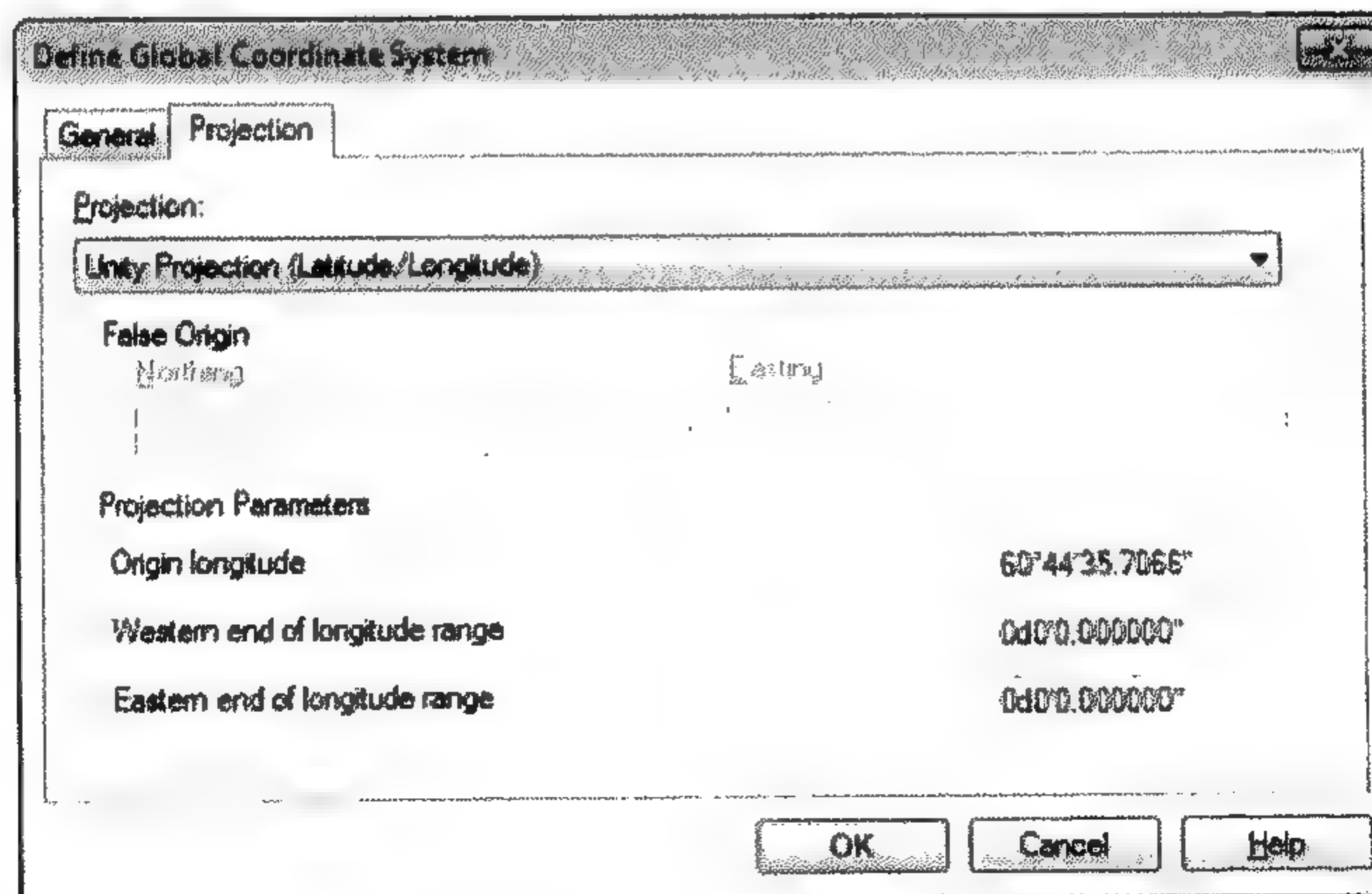
في صندوق الحوار Datum Manager انقر فوق الزر Define، ثم في صندوق الحوار Define Datum أدخل رمز المرجع الجيوديسي الجديد وشرحاً عنه. لتعريف الجسم الإهليلجي الجديد انقر فوق الزر Define.



الشكل 3-3 صندوق حوار Define Ellipsoid

في صندوق الحوار Ellipsoid Manager انقر فوق الزر Define، ثم في مربع الحوار Define Ellipsoid أدخل رمز الجسم الإهليلجي الجديد وشرحاً عنه، وأدخل نصفي القطرين الاستوائي والقطبي، ثم انقر فوق الزر موافق في صناديق الحوار وعد إلى صندوق الحوار Define Global Coordinate System.

يتطلب أوتوكاد تعريف نظام الإسقاط الخاص بالنظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية، ويكون ذلك بالانتقال إلى لسان التبويب (tab) المسمى Projection وانتقاء Unity Projection نظراً لأن النظام الذي نقوم بإنشائه نظام جغرافي ولا نرغب في تعريف نظام إسقاط خاص به (انظر 4.11.2 إنشاء نظام مرجعي جديد للإحداثيات المسقطة)، مع إدخال خط طول كاث في مربع الإدخال :Origin Latitude



الشكل 3-34 لسان تبويب Projection في صندوق حوار Define Global Coordinate System

نقوم بحفظ النظام الجديد بالنقر فوق الزر موافق.



من الجدول MDSYS.SDO_UNITS_OF_MEASURE نحدد معرفات وحدات القياس المطلوبة لتعريف النظام:

9001: metre
9102: degree

نقوم أولاً بإضافة المجسم الإهليلجي، وبما أنه كرة يكون مقلوب التفلطح 1000000000000:

```
INSERT INTO MDSYS.SDO_ELLIPSOIDS (ELLIPSOID_ID, ELLIPSOID_NAME,
SEMI_MAJOR_AXIS, UOM_ID, INV_FLATTENING, SEMI_MINOR_AXIS,
INFORMATION_SOURCE, DATA_SOURCE, IS_LEGACY, LEGACY_CODE)
VALUES (1000003, 'Biruni 1023', 6339600.0, 9001, 1000000000000, NULL, 'Myself',
'Myself', 'FALSE', NULL);
```

قبل إنشاء المرجع الجيوديسي يجب إنشاء خط الزوال الرئيسي:

```
INSERT INTO MDSYS.SDO_PRIME_MERIDIANS (PRIME_MERIDIAN_ID,
PRIME_MERIDIAN_NAME, GREENWICH_LONGITUDE, UOM_ID, INFORMATION_SOURCE,
DATA_SOURCE)
VALUES (1000003, 'Kath', 60.743252, 9102, 'Myself', 'Myself');
```

نقوم بإنشاء المرجع الجيوديسي من المجسم وخط الزوال:

```
INSERT INTO MDSYS.SDO_DATUMS (DATUM_ID, DATUM_NAME, DATUM_TYPE,
ELLIPSOID_ID, PRIME_MERIDIAN_ID, INFORMATION_SOURCE, DATA_SOURCE, SHIFT_X,
SHIFT_Y, SHIFT_Z, ROTATE_X, ROTATE_Y, ROTATE_Z, SCALE_ADJUST, IS_LEGACY,
LEGACY_CODE)
VALUES (1000003, 'Biruni 1023', 'GEODETIC', 1000003, 1000003, 'Myself', 'Myself', NULL,
NULL, NULL, NULL, NULL, NULL, NULL, 'FALSE', NULL);
```

ونعلم من الجدول MDSYS.SDO_COORD_SYS أن معرف نوع نظام الإحداثيات الجغرافية ثنائية الأبعاد هو 6422. نقوم الآن بإنشاء النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية ثنائي الأبعاد:

```
INSERT INTO MDSYS.SDO_COORD_REF_SYSTEM (SRID, COORD_REF_SYS_NAME,
COORD_REF_SYS_KIND, COORD_SYS_ID, DATUM_ID, SOURCE_GEOG_SRID,
PROJECTION_CONV_ID, CMPD_HORIZ_SRID, CMPD_VERT_SRID, INFORMATION_SOURCE,
DATA_SOURCE, IS_LEGACY, LEGACY_CODE, LEGACY_WKTEXT, LEGACY_CS_BOUNDS)
```

```
VALUES (1000003, 'Biruni 1023', 'GEOGRAPHIC2D', 6422, 1000003, NULL, NULL, NULL,
NULL, 'Myself', 'Myself', 'FALSE', NULL, NULL, NULL);
```

يمكن مشاهدة نسخة النص المعروف للنظام الجديد بالاستعلام التالي:

```
SQL> SELECT srid, wktext FROM CS_SRS WHERE srid = 1000003;
SRID
```

```
WKTEXT
```

```
1000003
GEOGCS [ "Biruni 1023", DATUM [ "Biruni 1023 (EPSG ID 1000003)", SPHEROID [ "Biruni
1023 (EPSG ID 1000003)", 6339600.0, 10000000000000.0]], PRIMEM [ "Kath", 60.743252 ],
UNIT [ "Decimal Degree", 0.0174532925199433]]
```



يمكن في FME إنشاء نظام مرجعي للإحداثيات الجغرافية بتحرير الملف MyCoordSysDefs.fme في المجلد Reproject في مجلد FME، وإضافة وسطاء النظام المراد إنشاؤه. النص التالي يصف النظام المرجعي المطلوب:

```
COORDINATE_SYSTEM_DEF LL.BIRUNI-1023 \
DESC_NM "Biruni 1023" \
SOURCE "Myself" \
PROJ LL \
UNIT DEGREE \
DT_NAME BIRUNI-1023
```

```
DATUM_DEF BIRUNI-1023 \
DESC_NM "Biruni 1023" \
SOURCE "Myself" \
ELLIPSOID BIRUNI-1023
```

```
ELLIPSOID_DEF BIRUNI-1023 \
DESC_NM "Biruni 1023" \
SOURCE "Myself" \
E_RAD 6339600.0 \
P_RAD 6339600.0
```


3.3.5.2. تحويل البيانات المكانية بين الأنظمة الجغرافية

كما ذكرنا في بحث إعداد بيئة العمل يمكن إضافة البيانات المكانية من مصادر مختلفة وسيقوم ArcGIS و AutoCAD Map 3D بتحويلها تلقائياً إلى نظام إحداثيات ملف الخريطة بحيث تتراكب بصورة صحيحة، ولا تُدخل أية تعديلات على إحداثيات البيانات الأصلية، لأن ArcGIS و AutoCAD Map يقومان بذلك لحظياً (on the fly) لأغراض العرض فقط.

لكن العمل مع البيانات المكانية يتطلب أحياناً تحويل البيانات المكانية بصورة نهائية، وليس بصورة مؤقتة، من نظام مرجعي ما للإحداثيات الجغرافية إلى نظام مرجعي آخر للإحداثيات الجغرافية، وغالباً ما يكون ذلك عند مشاركة البيانات المكانية بين جهات تعتمد أنظمة مرجعية مختلفة، أو عند انتقال الجهة أو الدولة نهائياً إلى نظام جديد.



الشكل 3-35 طرق تحويل الإحداثيات بين المراجع الجيوديسية المختلفة

تعمل بعض عمليات تحويل الإحداثيات مع الإحداثيات أرضية المركز (X, Y, Z) فقط، ولذلك تتطلب تغيير الإحداثيات الجغرافية (φ, λ, h) إلى أرضية المركز أولاً (انظر 5.1 بين الجغرافية وأرضية المركز) وتنفيذ التحويل عليها من الجسم الإهليلجي المصدر إلى الجسم الإهليلجي الهدف، ثم تغيير الإحداثيات أرضية المركز الناتجة من عملية التحويل إلى إحداثيات جغرافية مرة أخرى، بينما تعمل بعض التحويلات على الإحداثيات الجغرافية مباشرة، ومن السهل تمييز ذلك من صيغة معادلة التحويل.

بهدف تنظيم المعلومات في هذا الكتاب سنتناول بالتفصيل عملية تحويل إحداثيات البيانات المكانية بين نظامين مرجعيين للإحداثيات الجغرافية في فصل العمليات على الإحداثيات (انظر 5.2 تحويل الإحداثيات).

3.4. النظام المرجعي للإحداثيات الرأسية

يعتمد النظام المرجعي للإحداثيات الرأسية (vertical coordinate reference system: VertCRS) على نظام إحداثيات رأسية ومرجع رأسي. نظام الإحداثيات الرأسية (vertical coordinate system) هو نظام إحداثيات أحادي البعد يستخدم لتسجيل ارتفاع (أو عمق) النقاط وهو مفهوم رياضي مجرد ليس له صلة بالأرض، ولذلك يستخدم المرجع الرأسي لتعريف الصلة بينه وبين الأرض.

بخلاف الأنظمة المرجعية الجيوديسية التي تصف السطح الرياضي بأنه جسم إهليلجي أو كرة، لا يتضمن تعريف النظام المرجعي للإحداثيات الرأسية توصيف شكل السطح الذي تقاس منه الإحداثيات الرأسية، ولا المسافة بينه وبين الجسم الإهليلجي لأن هذا السطح الذي تقاس منه الإحداثيات الرأسية متموج بصورة غير منتظمة. بدلاً من ذلك يُعرّف هذا السطح من خلال مصفوفة من القيم التي تبين الفرق بينه وبين سطح آخر، حيث تستخدم هذه المصفوفة في العمليات على الإحداثيات التي تقوم بتحويل الإحداثيات الرأسية من نظام مرجعي إلى آخر (انظر 5.2.3 التحويلات في النظام المرجعي للإحداثيات الرأسية).

3.4.1. المرجع الرأسي

يصف المرجع الرأسي (vertical datum) إحداثيات النقطة في الاتجاه الرأسي، ويكون منسوباً إلى متوسط منسوب البحر في معظم الأحيان.

ترى المواصفة القياسية ISO 19111 ضرورة تعريف المرجع الرأسي من خلال تعريف أنواعه الأربعة:

- المرجع الرأسي الجيويدي (geoidal vertical datum) وهو النوع الأكثر شيوعاً من المراجع الرأسية ويقع الصفر في نظام الإحداثيات المرتبط به على سطح متساوي الكمون مثل الجيويدي.
- المرجع الرأسي للعمق (depth vertical datum) ويقع الصفر في نظام الإحداثيات المرتبط به على سطح ذي معنى بالنسبة للهدف من استخدامه مثل أدنى جزر فلكي (lowest astronomical tide: LAT) المستخدم كمرجع للخرائط البحرية.
- المرجع الرأسي البارومتري (barometric vertical datum) المعتمد على الضغط الجوي.
- يتضمن النوع الرابع جميع الأنواع الأخرى من المراجع الرأسية والمعتمدة على سطح ما ذي معنى، مثل أدنى نقطة من طبقة جيولوجية.

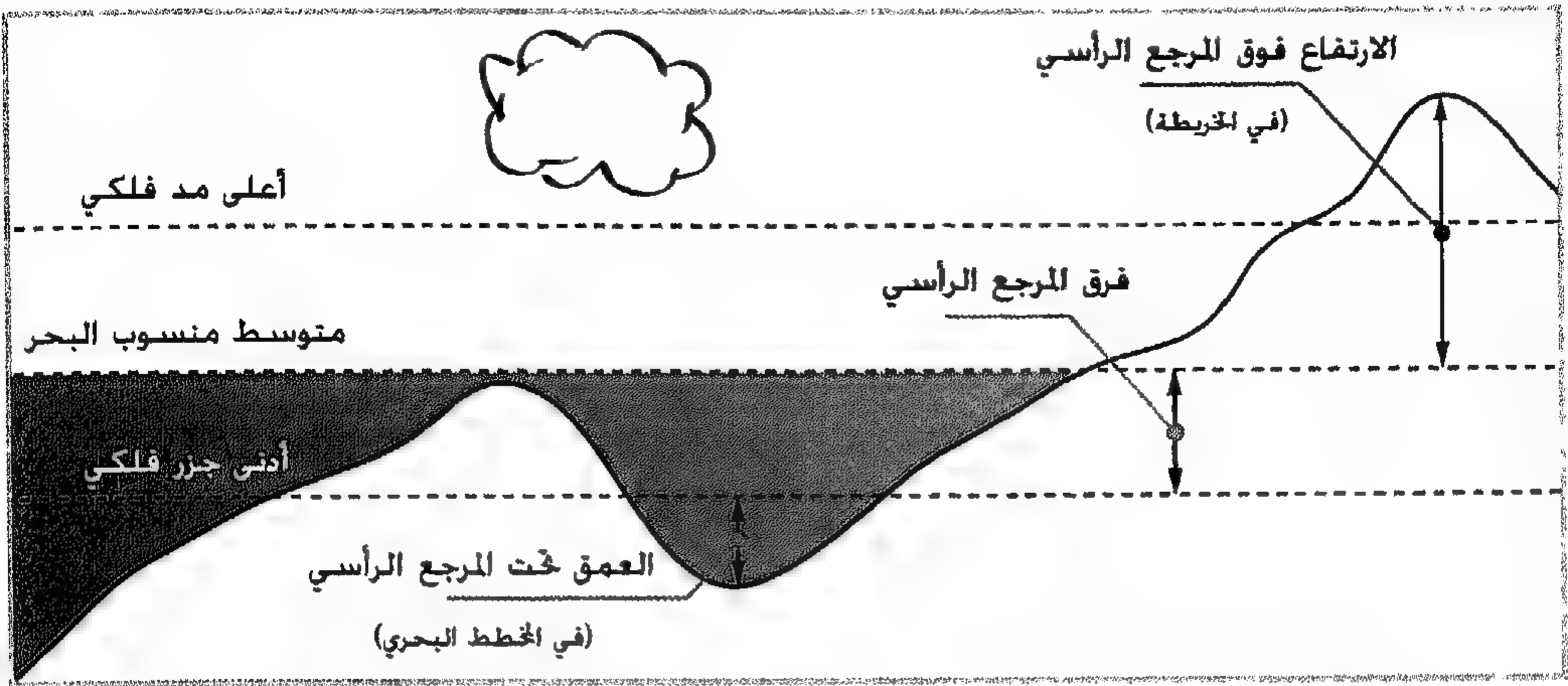
يشار إلى النظام المرجعي للإحداثيات الرأسية في النص المعروف (WKT) اختصاراً بـ VERT_CS، ويوضح المثال التالي النظام المرجعي للإحداثيات الرأسية المسمى Fao 1979 height والمستخدم في العراق:

```
VERT_CS["Fao 1979 height",
  VERT_DATUM["Fao 1979",
    AUTHORITY["EPSG","1028"]],
  AUTHORITY["EPSG","3886"]]
```

المرجع الرأسي في هذا النظام Fao 1979 مناسب للأعمال الطبوغرافية والجيوديسية ومبني على متوسط منسوب البحر في الفاو عند مصب شط العرب في الخليج العربي. قيس متوسط منسوب البحر لمدة سنتين في أواخر السبعينيات من القرن الماضي.

3.4.2. الارتفاعات والأعماق

تظهر في قاع البحار والمحيطات تضاريس مشابهة للتضاريس على سطح الأرض، ولذلك تقاس هذه الأعماق إلى سطح مرجعي بالطريقة ذاتها التي يقاس فيها ارتفاع التضاريس فوق سطح الأرض. يكون هذا السطح المرجعي غالباً متوسط منسوب البحر أو سطح الجيويدي (وهما سطحان منطبقان تقريباً) أو أي سطح آخر ذي معنى في منطقة الدراسة مثل أدنى جزر فلكي. وعندما يستخدم سطحان مرجعيان مختلفان لقياس الارتفاعات والأعماق؛ مثل اعتماد متوسط منسوب البحر مرجعاً رأسياً للارتفاعات وأدنى جزر فلكي مرجعاً رأسياً للأعماق يسمى الفرق بينهما فرق المرجع الرأسي (vertical datum separation).



الشكل 3-36 فرق المرجع الرأسي (عندما يستخدم سطحان مرجعيان مختلفان لقياس الارتفاعات والأعماق)

3.4.2.1 قياس الأعماق والمساحة المائية

يُعنى قياس الأعماق (bathymetry) والمساحة المائية (hydrography) بدراسة التضاريس في أحواض الأنهر وقيعان البحار والمحيطات (تسمى المساحة المائية المساحة البحرية تجاوزاً لكنها تعني بالأنهار والبحيرات وكل المناطق المائية)، بالطريقة ذاتها التي تُعنى فيها الطبوغرافيا بدراسة التضاريس فوق سطح الأرض. يكون العمق الباثيمتري موجباً تحت الجيويثيد وسالباً فوقه، على عكس ارتفاع التضاريس الذي يكون موجباً فوق الجيويثيد وسالباً تحته. وعند تركيب بيانات الارتفاع وبيانات الأعماق (bathymetric data) معاً في خريطة واحدة، نتوقع أن تتصل وبصورة سلسلة خطوط تساوي الارتفاع (height contours or isohypses) وخطوط تساوي الأعماق (depth contours or isobaths).

يمثل مخطط الأعماق (bathymetric chart) المعالم تحت سطح الماء بدقة وبذلك يختلف عن المخطط الهيدروغرافي (hydrographic chart) الذي يهدف إلى توفير ملاحية آمنة، ولذلك تظهر بيانات الأعماق ولا تظهر المعالم الفعلية في المخطط الهيدروغرافي لتوفير نسخة مبسطة يمكن قراءتها بصورة أفضل ما يساعد الملاحين على تجنب الأخطار الكامنة تحت سطح الماء.

3.4.2.2 نماذج الارتفاعات

هناك نوعان أساسيان من نماذج تمثيل الارتفاع مطلوبة لدعم المتطلبات في القطاعات المختلفة، هما ارتفاع تضاريس الأرض بدون الأسطح والأجسام التي عليها (الأرض الجرداء) ويمثله نموذج الارتفاع الرقمي (digital elevation model: DEM)، والثاني ارتفاع تضاريس الأرض

والأسطح التي عليها، بما في ذلك المباني والأشجار والجسور، الخ، ويمثله نموذج السطح الرقمي (DSM). يستخدم نموذج الارتفاع الرقمي في التصحيح العمودي (orthorectification) للصور الجوية، في حين يستخدم نموذج السطح الرقمي في تحليل الرؤية (viewshed analysis).

من ناحية أخرى، تمثل المسطحات المائية بطرق مختلفة في نماذج الارتفاع، فأحياناً تمثل البحيرات والمحيطات بسطح بسيط ارتفاعه صفر ويستخدم هذا التمثيل في النماذج المستخدمة في التصحيح العمودي للصور الجوية. وأحياناً تظهر بيانات الأعماق التي تمثل تضاريس حوض النهر أو قاع البحيرة الخ بدلاً من المسطح المائي في نموذج الارتفاع الرقمي، وأما في النماذج المستخدمة في حساب مساحات الأرض بدقة فلا يتوفر فيها أية بيانات تمثل المسطحات المائية.



تعتمد الكثير من الأنشطة في حياتنا اليومية على بيانات الارتفاعات والأعماق، ولها أهمية في المشروعات الكبيرة مثل التخطيط العمراني وبناء الطرق. ولأن المياه تتدفق إلى الأسفل تستخدم بيانات الارتفاع فوق سطح البحر لتحديد ميل أنابيب المياه وأنظمة الصرف الصحي. كما تدعم قياسات الأعماق سلامة المواصلات البحرية فوق وتحت سطح الماء في الأنهار والبحيرات والمحيطات



يمكن الحصول على بيانات الارتفاع والعمق من مصادر مختلفة توفر هذه البيانات للجمهور، ومن هذه المصادر:

- GTOPO30: بيانات الارتفاع لكامل العالم بدقة 30 ثانية (1 كلم تقريباً):
<http://www1.gsi.go.jp/geowww/globalmap-gsi/gtopo30/gtopo30.html>
- ETOPO1: نموذج التضاريس العالمي بدقة 1 دقيقة (2 كلم تقريباً) ويتضمن تضاريس الأرض وبيانات الأعماق:
<http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/global.html>
- GMTED2010: بيانات العام 2010 من نموذج التضاريس العالمي بمستويات مختلفة من الوضوح (250 و 500 و 1000 متر تقريباً):
<http://pubs.usgs.gov/of/2011/1073>

- بيانات SRTM أو مهمة المسح الراداري للتضاريس من مكوك الفضاء (Shuttle Radar Topography Mission) التي أجراها مكوك الفضاء Endeavour التابع لوكالة الفضاء ناسا عام 2000:

<http://srtm.usgs.gov/index.php>

3.4.3. متوسط منسوب البحر

يُعدّ متوسط منسوب البحر (mean sea level: MSL) مرجعاً دولياً للارتفاعات وله أهمية خاصة في الأنشطة التجارية البحرية، والأمن والسلامة البحرية، الخ.

وبناءً على متوسط منسوب البحر تقوم الجهات المختصة بتحديد مجموعة أخرى من المناسيب لها دور مهم في تعريف حدود الملكيات الخاصة والعامة، وحدود المياه الإقليمية والمنطقة الاقتصادية الخالصة وحدود المياه الدولية

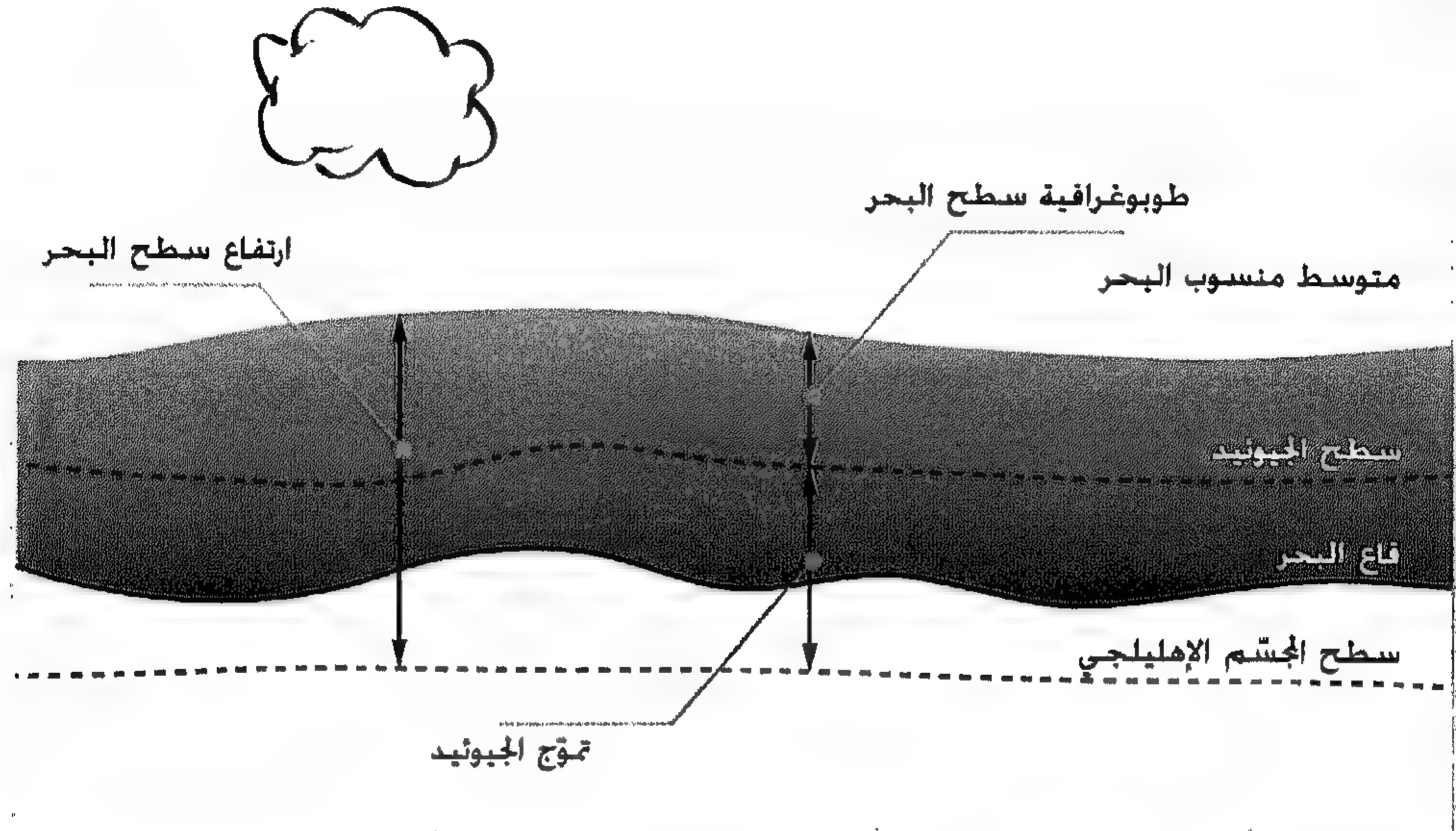
يتطابق الجيويثيد مع متوسط منسوب البحر المحلي في الدولة إذا كانت المياه بالقرب من السواحل في حالة توازن مطلق. وبما أن حالة التوازن المطلق هذه غير متحققة بسبب تيارات المحيطات واختلاف الكثافة ودرجة الحرارة الخ، يمكن أن يصل الفرق بين سطح الجيويثيد ومتوسط منسوب البحر المحلي في بعض المناطق من العالم إلى مترين. وهذا الفرق ليس ثابتاً إذ يمكن أن يمر متوسط منسوب البحر فوق أو تحت سطح الجيويثيد.

تستخدم بعض المراجع مصطلح الجيويثيد المحلي للدلالة على متوسط منسوب البحر، وذلك تمييزاً عن الجيويثيد الحقيقي الذي يمكن أن يصل الفرق بين سطحه ومتوسط منسوب البحر المحلي في بعض المناطق من العالم إلى مترين. لكن مصطلح الجيويثيد المحلي يستعمل في أغلب الأحيان للدلالة على ذلك النموذج الذي يكون أكثر تفصيلاً ودقة من نماذج الجيويثيد العالمية، ويتم تطويره بتركيب وتكثيف شبكات قياس الجاذبية في منطقة ما لخدمة التطبيقات الجيوديسية.



تسمى ظاهرة الفرق بين الجيويثيد ومتوسط سطح البحر طوبوغرافية سطح البحر (sea surface topography: SST)، كما يسمى ارتفاع متوسط منسوب البحر فوق المحسّم الإهليلجي ارتفاع سطح البحر (sea surface height: SSH).

يتطلب تحديد متوسط منسوب البحر قياسات دقيقة على مدار سنوات طويلة، ما يجعله عملية صعبة، وبخاصة أنه يتأثر بعوامل على المدى الطويل، مثل العوامل الجيولوجية، والمناخية، وذوبان الكتل الجليدية في القطبين الخ، كما يتأثر بعوامل أخرى مثل المد والجزر، الضغط الجوي، الرياح الخ.

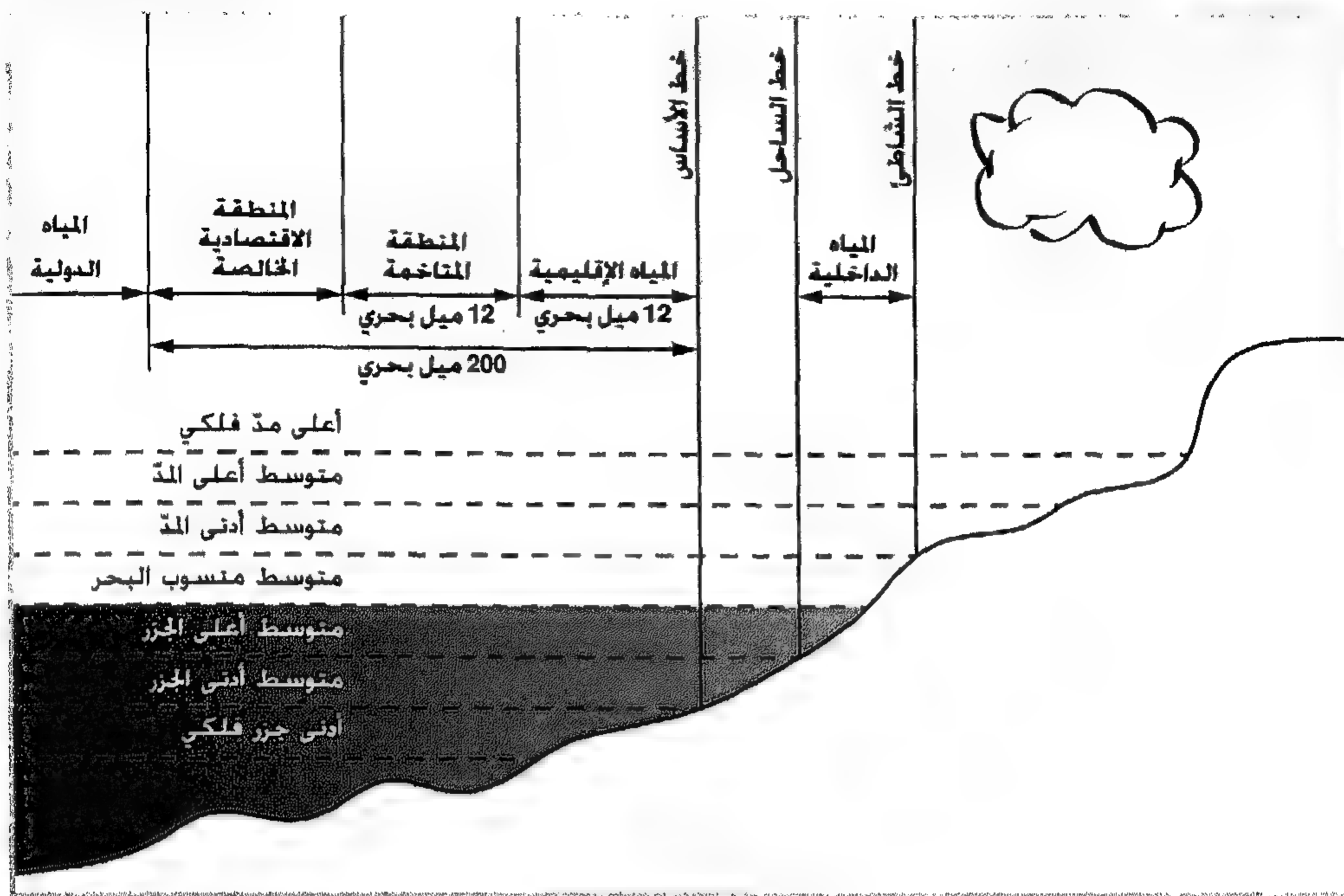


الشكل 3-37 متوسط منسوب البحر بالمقارنة مع سطوح أخرى

يتطلب تحديد متوسط منسوب البحر إجراء قياسات باستخدام جهاز ذي مسطرة مدرجة يسمى مقياس المد والجزر (tidal gauge or marigraph)، يطفو جزء منه فوق الماء فوق رصيف بحري أو داخل بئر ترقييد (stilling well) معدة لهذا الغرض. تُجرى القياسات على مدار الساعة لمدة 19 عشر عاماً، وهي الفترة التي يحتاجها القمر إلى المرور من النقطة ذاتها مرتين، وتسمى الدورة الميتونية (metonic cycle) وذلك لضمان تكرار شروط المد والجزر ذاتها.

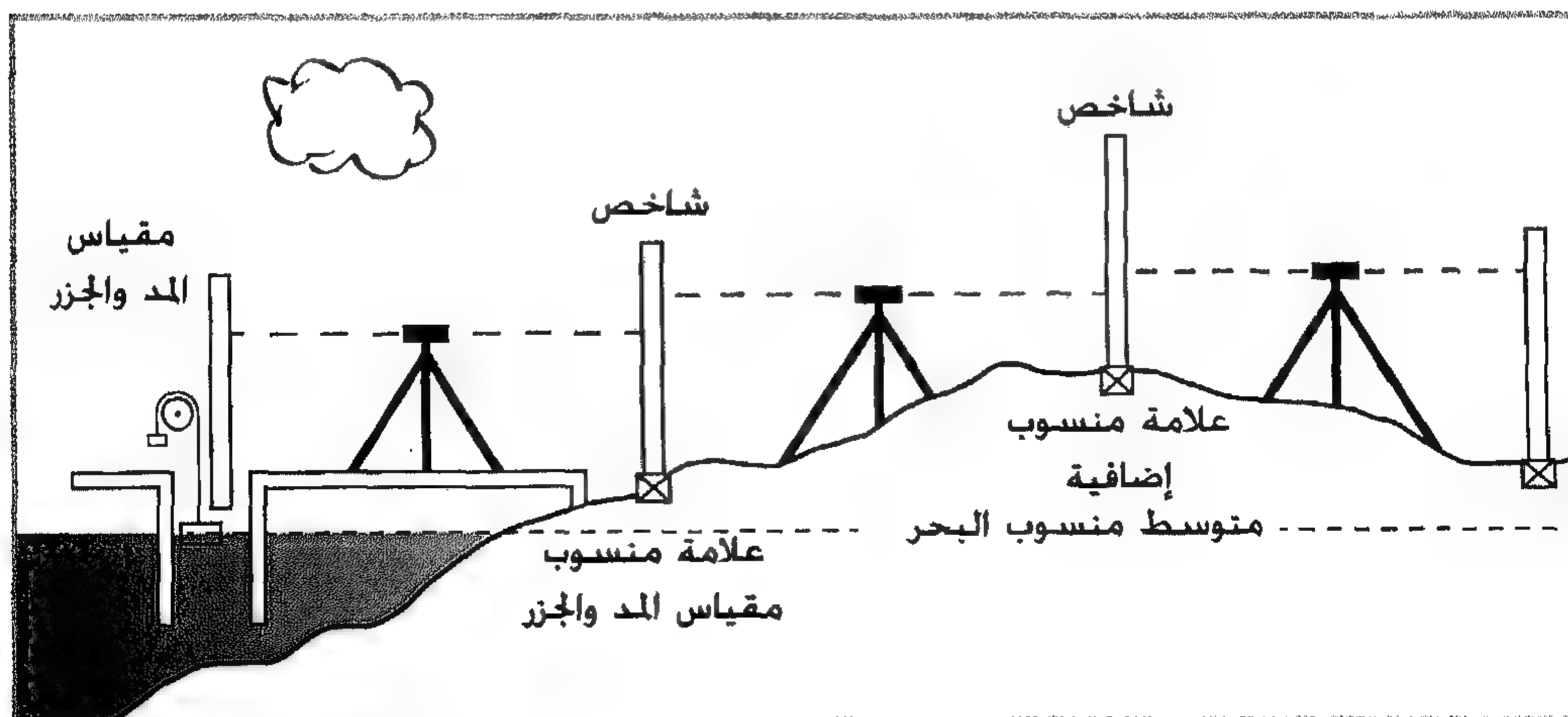
يمثل متوسط القراءات في مقياس المد والجزر متوسط منسوب البحر، ويمكن أن يكون هذا المتوسط بسيطاً أي مساوياً لمتوسط جميع القراءات، أو متوسط القراءات بعد حذف الشاذ منها نتيجة الأمواج وحركة المياه غير الطبيعية.

كما مر معنا، بالإضافة إلى متوسط منسوب البحر تقوم الجهات المختصة بتحديد مجموعة أخرى من المناسب لها دور مهم في تعريف حدود الملكيات الخاصة والعامة، وحدود المياه الإقليمية والمنطقة الاقتصادية الخالصة وحدود المياه الدولية المبينة في الشكل التالي (UN, 1994):



الشكل 3-38 المراجع الرأسية

تقوم الجهات المختصة بتوزيع شبكة من علامات المنسوب (bench marks: B.M.) في مناطق مختلفة من الدولة وتحديد مناسيبها بدقة كبيرة ضمن الشبكة الجيوديسية الوطنية (انظر 3.6 الشبكة الجيوديسية الوطنية) لتستخدم في تحديد المناسيب في الأعمال المساحية المختلفة التي تتم في جوارها دون الرجوع كل مرة إلى متوسط منسوب البحر.



وكما ذكرنا سابقاً، سطح البحر ليس شكلاً منتظماً، فهو يتأثر بحقل الجاذبية، ولذلك يختلف متوسط منسوب البحر بين دولة وأخرى، ما يعني اختلاف المراجع الرأسية بينها. هذا يفسر لماذا تتوقف خطوط التسوية التي تبين الارتفاعات في الخرائط الطبوغرافية عند حدود الدولة الواحدة. أكثر من ذلك، تختلف متوسطات منسوب البحر ضمن الدولة الواحدة أيضاً، ولذلك تعتمد نقطة واحدة منها فقط مرجعاً رأسياً.



تقوم هيئة "الخدمات الدائمة لمتوسط منسوب البحر" (Permanent Service for Mean Sea Level: PSMSL) بجمع بيانات متوسط منسوب البحر وتوفير قاعدة بيانات بمواقع وقراءات مقاييس المد والجزر حول العالم ونشر التوصيات والمواصفات القياسية ذات الصلة، ويمكن الاستفادة من هذه المعلومات على موقع الهيئة:

<http://www.psmsl.org>

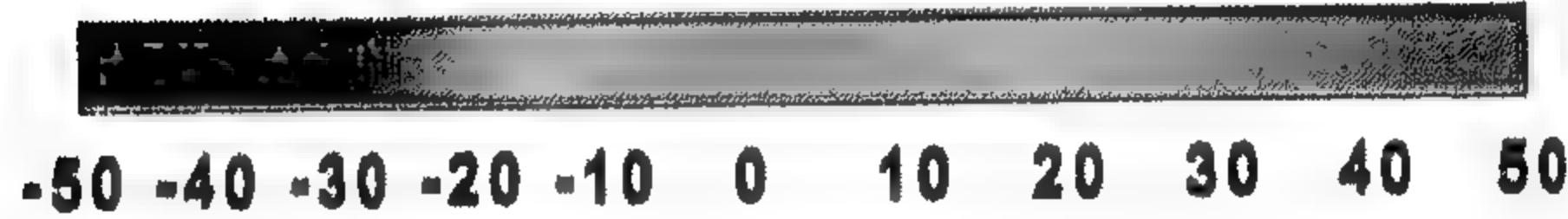
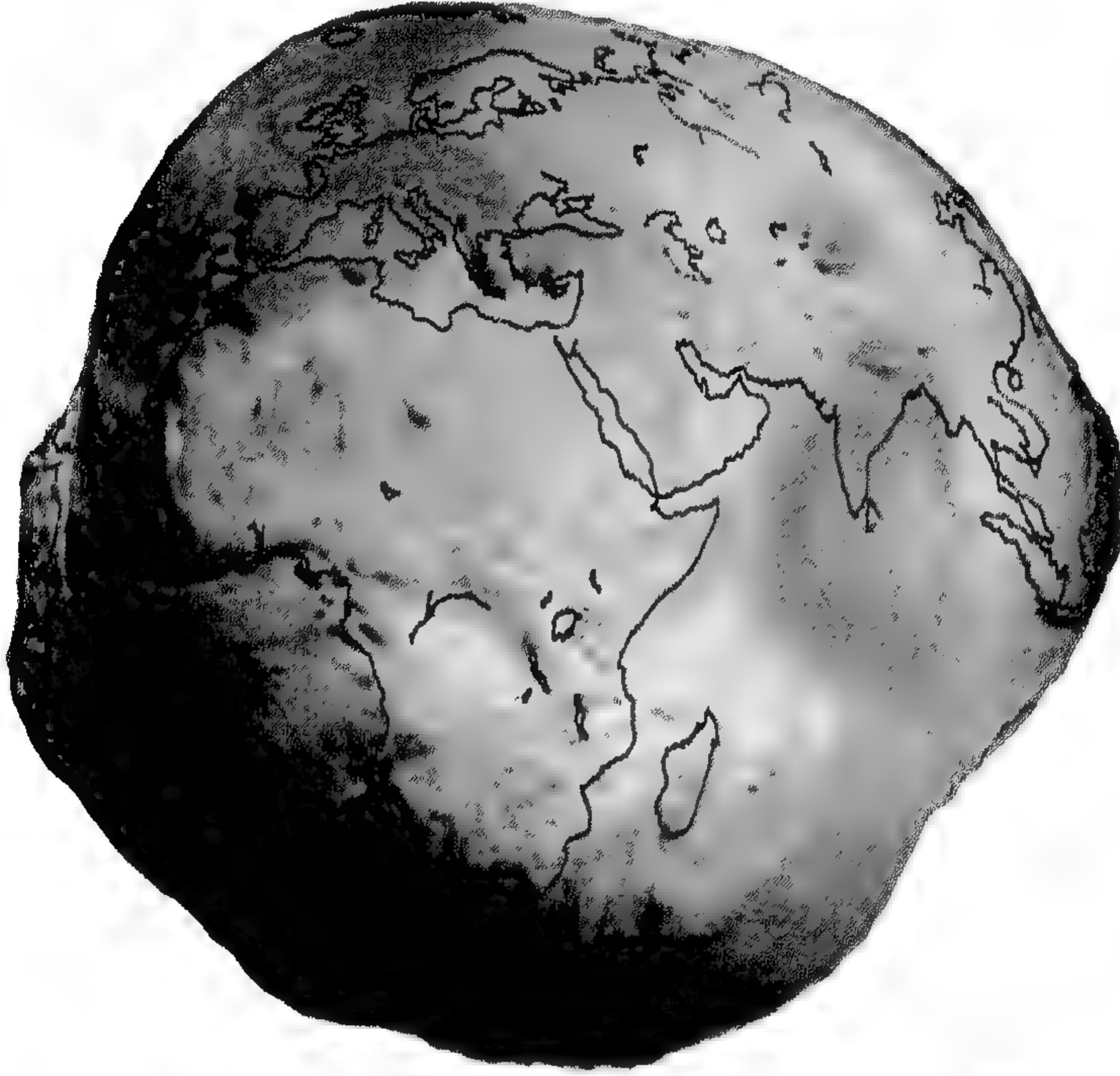
3.4.4. الجيويدي

كما مر معنا سابقاً، فإن المجسم الأرضي أو الجيويدي (geoid) يتطابق مع متوسط منسوب البحر في المحيطات، إذا كانت متساوية الكثافة، وفي حالة توازن مطلق، لا تتأثر بالرياح أو المد أو الجزر ونحالية من التيارات الخ.

لا يمكن أن يسيل الماء فوق سطح الجيويدي من منطقة إلى أخرى، فهو سطح متساوي الكمون (equi-potential surface) في حقل جاذبية الأرض، ويكون اتجاه الجاذبية عمودياً عليه في أي نقطة منه. معنى هذا أن المطمار أو خيط الشاقول (plumb line) عمودي دائماً على سطح الجيويدي، وأن الواقف على قدميه في قارب يبحر فوق سطح الجيويدي يبقى واقفاً لا يشعر بميل أو انحراف رغم عدم انتظام شكل الجيويدي.

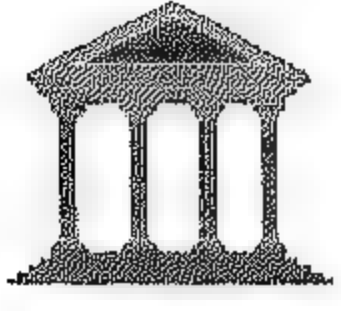
ثمة العديد من السطوح متساوية الكمون، بعضها يوازي بعضاً، وهي تشبه طبقات البصلة، لكن الجيويدي الذي نتحدث عنه هو ذلك السطح متساوي الكمون الذي يتطابق مع متوسط منسوب البحر لسطح المحيطات.

ولما كان حقل جاذبية الأرض غير متساو من حيث القوة، بل يختلف من منطقة إلى أخرى، حسب اختلاف الكثافة، نتيجة اختلاف توزيع سلاسل الجبال، واختلاف توزيع الكتل المعدنية الذائبة تحت قشرة الأرض، لن يكون متوسط منسوب البحر بالارتفاع ذاته في كل مكان، بل يختلف من منطقة إلى أخرى، حسب اختلاف قوة الجاذبية فيها.



الشكل 3-40 شذوذ حقل جاذبية الأرض بالمليجال (عن ناسا)

وفي حين تبلغ أعلى نقطة في السطح الطبوغرافي للأرض 8848 متر في قمة إفرست، وأدنى نقطة فيه 11030 متر تحت سطح البحر في خندق ماريانا في أعماق المحيط الهادي إلى الشرق من جزر ماريانا الشمالية، فإن الفرق بين أعلى وأدنى نقطة على سطح الجيوتيد لا يتجاوز 200 متر. الجيوتيد إذاً سطح أكثر سلاسة من السطح الطبوغرافي للأرض، وإن كان غير منتظم. وعند تقريب شكل الجيوتيد إلى مجسم إهليلجي، سيكون التفاوت بين سطح الجيوتيد وسطح المجسم الإهليلجي الرياضي المنتظم في حدود 200 متر بحد أقصى، ويسمى هذا التفاوت تموج الجيوتيد.



القياسات الدقيقة للجيوئيد في المناطق البحرية لها أهمية خاصة بالنسبة لشركات التنقيب عن النفط الذي تستخدم هذه المعلومات لتحليل مجالات الجاذبية في الأحواض البحرية وتستخدم نتائج التحليل لتحديد المواقع المحتملة للنفط تحت قاع البحر.

3.4.4.1 نماذج الجيوئيد العالمية

يُحسب سطح الجيوئيد من خلال تنفيذ مجموعة كبيرة من قياسات حقل الجاذبية وعلى نطاق واسع.

حتى وقت قريب كان "نموذج جاذبية الأرض للعام 1996" (Earth Gravitational Model EGM96: 1996) أفضل نماذج جاذبية الأرض، وقد طورته وكالة التصوير والخرائط الوطنية (National Imagery and Mapping Agency: NIMA) الأمريكية، ومركز جودارد للطيران الفضائي (GSFC) في ناسا، وجامعة ولاية أوهايو الأمريكية.

يتميز نموذج EGM96 بدرجة تمثيل تساوي 360، أي قراءة لتموذج الجيوئيد بالنسبة إلى المرجع الجيوديسي WGS 84 كل 1 درجة من دوائر العرض وخطوط الطول (حوالي 100 كيلومتر).

وفي العام 2008 أصدرت وكالة الاستخبارات الجيومكانية الوطنية الأمريكية (NGA) نموذجاً جديداً للجاذبية هو EGM2008 يعتمد على قياسات جاذبية أرضية رصدها القمر الاصطناعي GRACE بالإضافة لقياسات جاذبية أرضية لأجزاء كبيرة من العالم. ويُعدّ هذا النموذج ثورة في مجال نمذجة الجيوئيد، إذ تصل درجة تمثيل نموذج EGM2008 إلى 2190، أي قراءة واحدة لتموذج الجيوئيد بالنسبة إلى المرجع الجيوديسي WGS 84 كل 1/6 درجة (حوالي 16 كلم)، ما يدل بصفة عامة علي أن EGM2008 أكثر دقة وأكثر تفصيلاً من EGM96.

وفي العام 2009 أطلقت وكالة الفضاء الأوروبية (ESA) القمر الاصطناعي GOCE، لقياس حقل الجاذبية الأرضي المستقر وإنشاء نموذج عالي الدقة لتموذج الجيوئيد بالنسبة إلى المرجع الجيوديسي WGS 84 من 1 إلى 2 سنتيمتر، وبدأت بنشر نتائج GOCE منذ العام 2010 على موقعها على إنترنت:

<http://www.esa.int>



ArcGIS

يمكن الحصول على بيانات EGM2008 للمنطقة العربية في صيغة شبكة منسامة (grid) بدقة 2.5 دقيقة، واستخدامها في برنامج ArcGIS مباشرة من الرابط:

http://earth-info.nima.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/GIS/egm08_centcom_geoid.zip

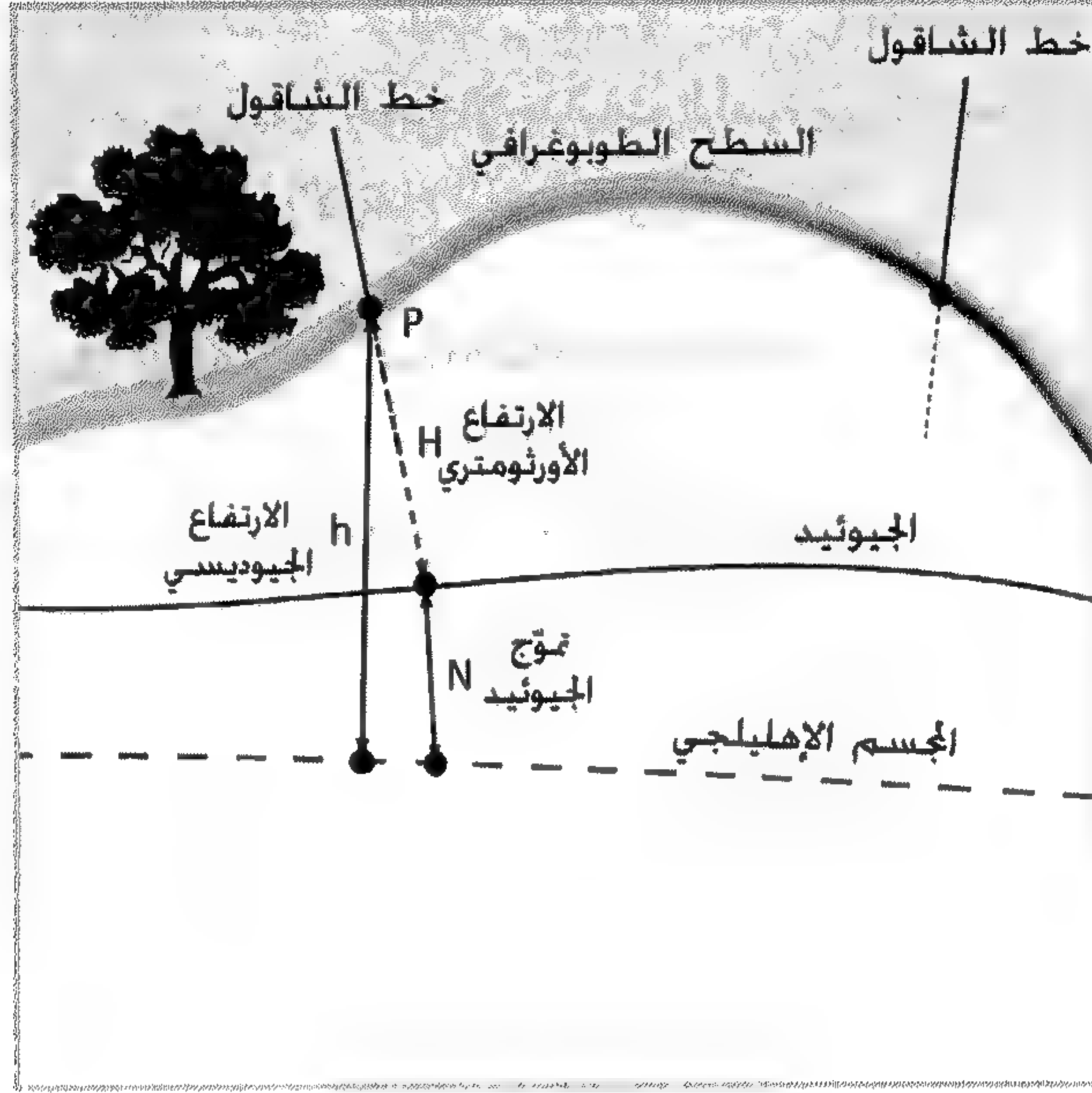


الشكل 3-41 بيانات EGM2008 للمنطقة العربية

يسمى الفرق بين سطح الجيويد والمجسم الإهليلجي المرجعي تموج الجيويد (geoid undulation) أو حيود أو تذبذب الجيويد، كما يسمى أيضاً ارتفاع الجيويد (geoid height) أو فرق الجيويد (geoid separation).

يكون تموج الجيويد موجياً إذا كان سطح الجيويد واقعاً إلى الأعلى من المجسم الإهليلجي، وسالياً إذا كان واقعاً إلى الأسفل منه. وأكثر ما تقوم الجهات المختصة بدراسته تموج الجيويد بالنسبة إلى المرجع الجيوديسي WGS 84 المستخدم في نظام تحديد المواقع العالمي GPS.

3.4.4.2. تموج الجيويدي



الشكل 3-42 تموج الجيود والارتفاعين الجيوديسي والأورثومتري

كما مر معنا، يعرف الارتفاع الأورثومتري لنقطة P بأنه المسافة H على خط الشاقول التي تصل النقطة P بسطح الجيويدي أو متوسط منسوب البحر، ويعرف الارتفاع الجيوديسي أو الارتفاع الإهليلجي بأنه المسافة h من النقطة على الناظم إلى سطح المجسم الإهليلجي.

ويمكن حساب الفرق بين الارتفاع الإهليلجي h والارتفاع الأورثومتري H بمعادلة تصحيح الارتفاع (height correction):

$$H = h - N$$

حيث N تموج الجيويدي، وتختلف N اعتماداً على خطوط الطول والعرض، وهي قيمة معقدة نظراً لأن الجيويدي سطح معقد، ويسمى جدول البحث لقيمة N لأي خط عرض وطول لنقطة معينة نموذج الجيويدي (geoid model)، ما يعني أن التحويل بين الارتفاعين الإهليلجي والأورثومتري يتطلب تطوير هذا النموذج أولاً.

تشير هذه المعادلة أيضاً إلى أنه إذا توفرت في منطقة ما نماذج مختلفة للجيويدي فإن الارتفاع الأورثومتري لنقطة سيكون مختلفاً باختلاف هذه النماذج، حتى لو كان الارتفاع الإهليلجي المقيس

في نظام GPS ثابتاً ودقيقاً. ولذلك يجب عند استخدام بيانات الارتفاع الأورثومتري التأكد من نموذج الجيوييد المستخدم في حسابها.

يشرح الفصل الثالث بالتفصيل كيفية تحويل الإحداثيات الرأسية بين المراجع الرأسية المختلفة (انظر 5.2.3.1 بين الارتفاع الجيوديسي والارتفاع المعتمد على الجاذبية).

.....  ArcGIS'

يتوفر في برنامج ArcGIS نموذج لتصحيح الارتفاعات باستخدام المعادلة أعلاه بالاعتماد على نموذج الجيوييد EGM96 في المجلد:

C:\Program Files\ArcGIS\Desktop10.0\pdata\geoid

..... 

لعرض الارتفاع الأورثومتري في Google Earth في شريط الحالة (status bar)، تأكد من تمكين الطبقة Terrain في القائمة الجانبية Layers.

يمكنك أيضاً انتقاء وحدة قياس الارتفاعات بين المتر والكيلومتر أو القدم والميل من القائمة:

Tools > Options... > 3D View > Units of Measurement

لاحظ أن الارتفاعات الأورثومترية في Google Earth مصدر ممتاز للمعلومات وبخاصة عندما لا تتوفر لديك مصادر أخرى، ولكن لضمان الدقة يجب الحصول على معلومات الارتفاع الأورثومتري من الخرائط المساحية أو من الجهة المختصة في منطقتك أو باستخدام القياسات المساحية.

تقدم العديد من المواقع خدمة فورية لحساب تموج الجيوييد لأي نقطة (λ, φ) بالاعتماد على نماذج الجيوييد العالمية وباستخدام طرق الاستكمال الداخلي، ويطلق على هذه الخدمة حاسبة الجيوييد (geoid calculator) ويمكنك العثور على العديد من هذه الخدمات على إنترنت. ومن الأمثلة على ذلك حاسبة الجيوييد EGM96 التي توفرها وكالة الاستخبارات الجيومكانية الوطنية (NGA) على موقعها:

<http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm96/intpt.html>



يمثل حساب عامل التمدد تحدياً رياضياً، ولذلك تأتي أجهزة استقبال نظام تحديد المواقع العالمي مع جداول تموج مبنية (built-in) في جهاز الاستقبال لتحديد الارتفاع فوق متوسط منسوب البحر بالنيابة عن المستخدم.

مشروع:

يراد تحويل الارتفاع الإهليلجي h المقيس باستخدام نظام تحديد المواقع العالمي للنقطة في واحة ليوا (Liwa Oasis) في المنطقة الغربية بدولة الإمارات العربية المتحدة إلى ارتفاع أورثومتري H . علماً بأن إحداثيات النقطة (φ, λ, h) في WGS 84:

$$\varphi = 23^{\circ}8'2.34N, \lambda = 53^{\circ}47'55.55E, h = 106.82 m$$

الحل:

باستخدام حاسبة الجيويدي المتوفرة في موقع وكالة الاستخبارات الجيومكانية الوطنية (NGA) مثلاً، نجد تموج الجيويدي في النقطة المذكورة -33.18 م، أي إن الجيويدي يقع تحت سطح المحسّم الإهليلجي، ومن العلاقة السابقة:

$$H = 106.82 - (-33.18) = 140 m$$

3.4.4.3 الجيويدي المحلي

كما مر معنا فإن نماذج الجيويدي العالمية توفر قراءات لتموج الجيويدي على مسافات فاصلة لا توفر الدقة المطلوبة لمعظم المشروعات الهندسية على الرغم من دقة هذه النماذج، ولا سيما EGM96 و EGM2008، إذ تحتاج هيئات المساحة في كل دولة إلى تطوير نموذج جيويدي محلي يكون أكثر دقة وتفصيلاً لتحويل الارتفاعات الإهليلجية التي يزودنا بها نظام GPS إلى ارتفاعات أورثومتريّة، وبخاصة مع انتشار تطبيقات النظام العالمي لتحديد المواقع في مشروعات المساحة والخرائط عالمياً.

تشير المعادلة السابقة إلى ضرورة معرفة تموج الجيويدي N في النقطة التي يقاس ارتفاعها بنظام تحديد المواقع (الارتفاع الجيوديسي)، وذلك لتحويله إلى ارتفاع أورثومتري، وبعبارة أخرى تشير هذه المعادلة إلى ضرورة توفير نموذج محلي للجيويدي (local geoid) في المنطقة لكي نتمكن من تحويل الارتفاعات الإهليلجية المقيسة من نظام GPS إلى ارتفاعات أورثومتريّة بدقة تناسب متطلبات معظم المشروعات، حيث يتم تطوير نموذج جيويدي محلي باستخدام أساليب مختلفة منها الطريقة الهندسية وطريقة أرصاد الجاذبية.



تستخدم بعض المراجع مصطلح الجيويدي المحلي للدلالة على متوسط منسوب البحر، وذلك تمييزاً عن الجيويدي الحقيقي الذي يمكن أن يصل الفرق بين سطحه ومتوسط منسوب البحر المحلي في بعض المناطق من العالم إلى مترين. لكن مصطلح الجيويدي المحلي يستعمل في أغلب الأحيان للدلالة على ذلك النموذج الذي يكون أكثر تفصيلاً ودقة من نماذج الجيويدي العالمية، ويتم تطويره بتركيب وتكثيف شبكات قياس الجاذبية في منطقة ما لخدمة التطبيقات الجيوديسية.

3.4.4.3.1 حساب الجيويدي المحلي بالطريقة الهندسية

في الطريقة الهندسية (geometric method) تتم مقارنة الارتفاعات الإهليلجية h من نظام GPS في نقاط معلوم ارتفاعها الأورثومتري H عن متوسط منسوب البحر وتستخدم علاقة تموج الجيويدي لإيجاد قيمة تموج الجيويدي N في تلك النقاط، ومن ثم استنتاج قيم التموج لكامل المنطقة بأساليب مثل الاستكمال الداخلي (interpolation) شريطة أن تكون المنطقة صغيرة وأن تتوفر فيها عدد مناسب من هذه النقاط موزعة بصورة مناسبة.

تتوفر في معظم الدول شبكة جيوديسية وطنية (انظر 3.6 الشبكة الجيوديسية الوطنية) وتحتوي هذه الشبكات على علامات منسوب تم قياس ارتفاعها فوق متوسط منسوب البحر. ويمكن بقياس الارتفاع الإهليلجي في هذه النقاط استنتاج نموذج محلي تقريبي للجيويدي. ويسمى هذا النوع من النماذج تموج الجيويدي بالنسبة إلى نظام تحديد المواقع العالمي/التسوية (GPS/levelling geoid undulation).

من ناحية أخرى، يمكننا تقييم دقة نموذج جيويدي معين في منطقة ما، بمقارنة قيم التموج التي يوفرها هذا النموذج مع قيم دقيقة للتموج نحصل عليها من طرق أخرى، ثم تقييم دقة النموذج من متوسط الأخطاء والانحراف المعياري.

3.4.4.3.2 حساب الجيويدي المحلي باستخدام أرصاد الجاذبية

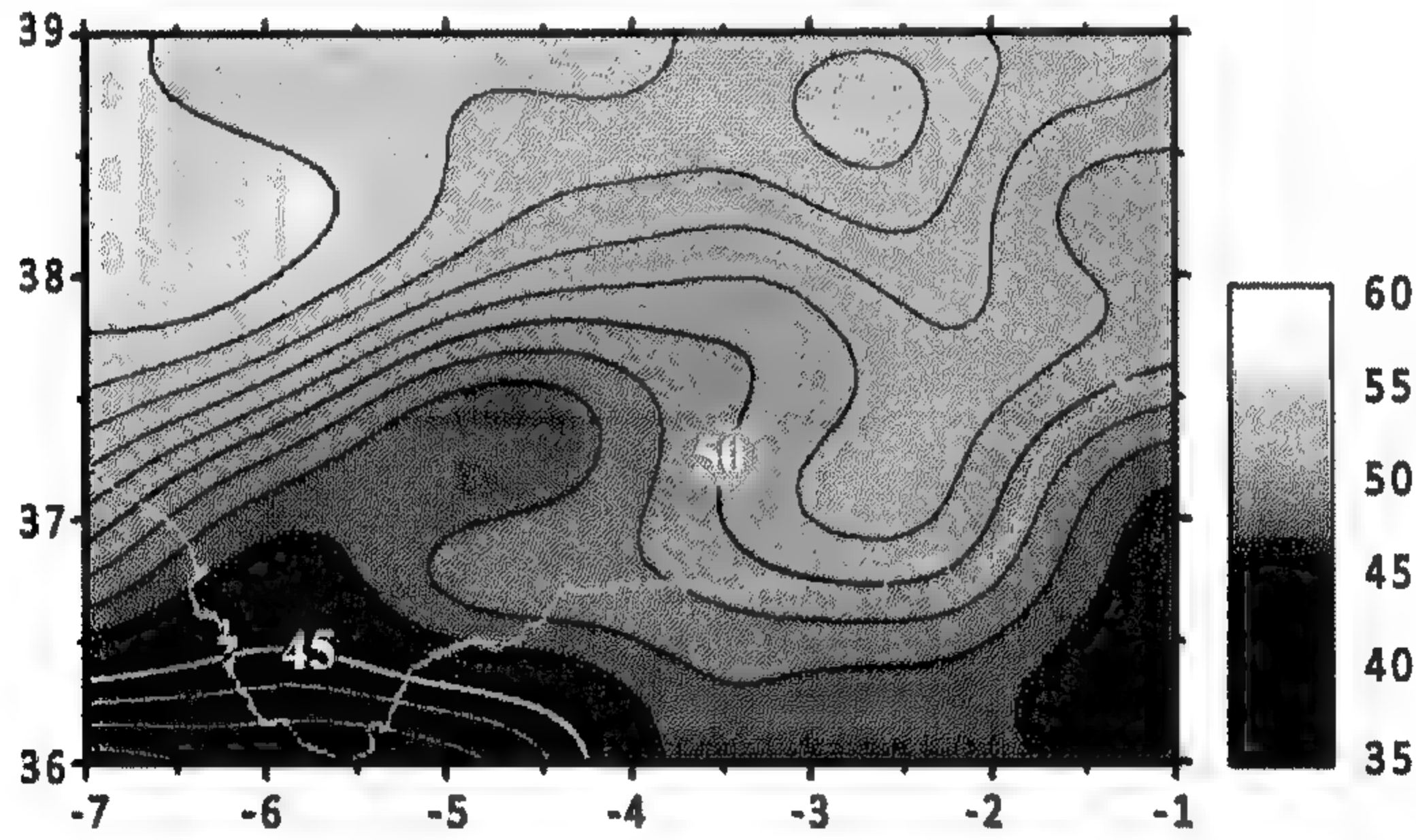
تقوم الجهات المختصة بتنفيذ أرصاد الجاذبية ومعالجة نتائجها للحصول على نموذج الجيويدي المحلي، وتقع تفاصيل ذلك خارج نطاق هذا الكتاب، لكن بصورة مبسطة يُحسب تموج الجيويدي من المعادلة (Sideris, 1994):

$$N = N_{GM} + N_{\Delta g} + N_T$$

حيث N_{GM} تموج الجيويثيد حسب نماذج الجيويثيد العالمية، و $N_{\Delta g}$ تأثير شذوذ الجاذبية (gravity anomaly) ويُحسب باستخدام تكامل Stokes (شذوذ الجاذبية هو الفرق بين قيمة الجاذبية النظرية والقيمة المقاسة باستخدام مقياس الجاذبية (gravimeter))، و N_T التأثير غير المباشر لكتلة التضاريس ويتطلب توفر نموذج تضاريس رقمي (digital terrain model: DTM) ومعرفة بكثافة القشرة في منطقة الدراسة.

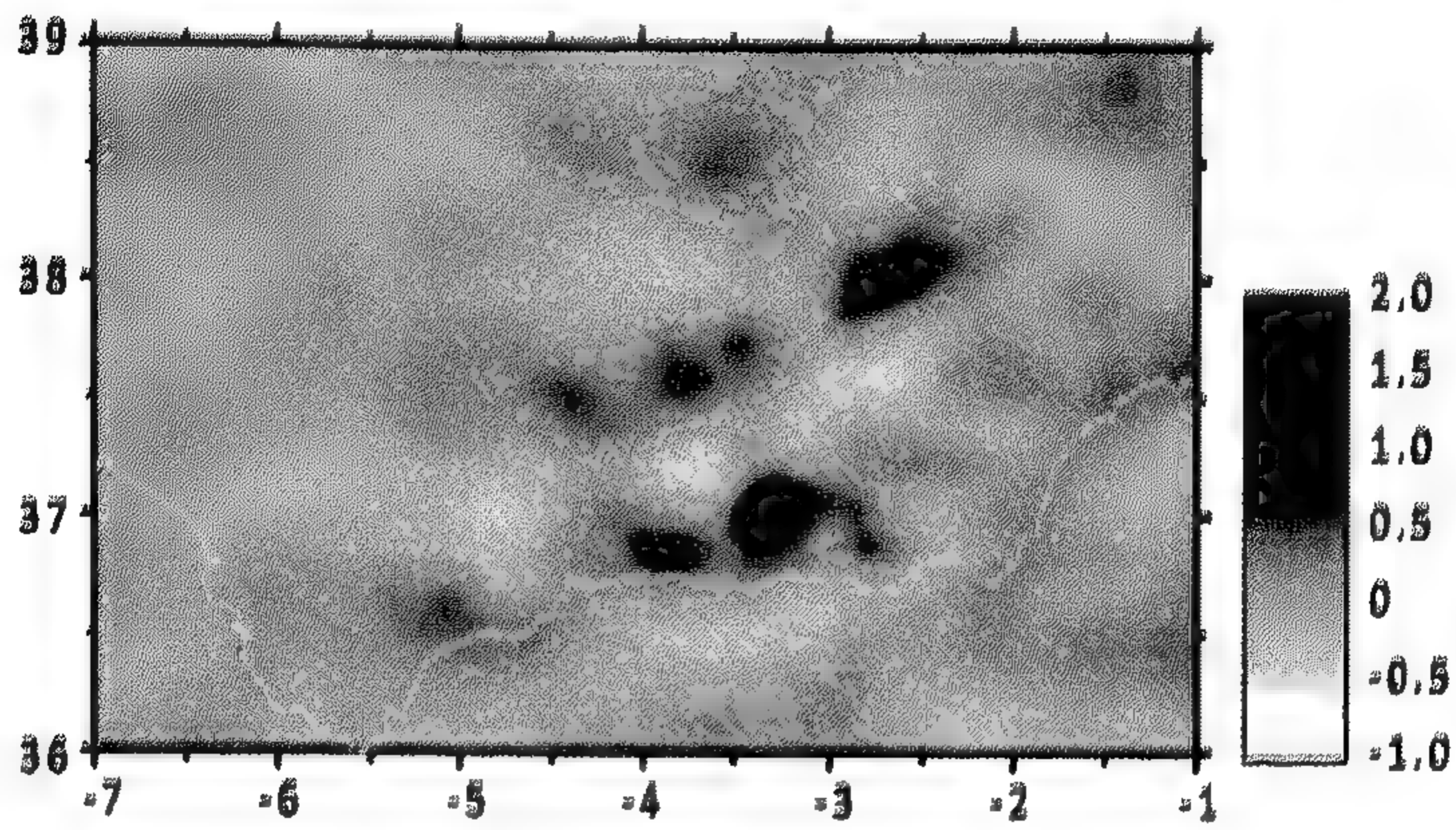
الأشكال التالية منقولة عن دراسة لحساب نموذج جيويثيد محلي بدقة عالية في الأندلس (Andalusia) بجنوب إسبانيا نشرها Francisco Manzano و Victor Corchete و Gil Manzano من جامعة Almeria وميمون شوراق من جامعة مولاي إسماعيل.

اعتمدت هذه الدراسة على بيانات من جهات مختلفة، منها أرصاد الجاذبية في 18621 نقطة منها 8441 نقطة في المنطقة البحرية، ونموذج حقل الجاذبية EIGEN-GL04C، بالإضافة إلى نموذج تضاريس رقمي، ونموذج جيويثيد محلي تقريبي مستنتج من بيانات الارتفاع فوق سطح البحر (انظر 3.4.4.3.1 حساب الجيويثيد المحلي بالطريقة الهندسية).

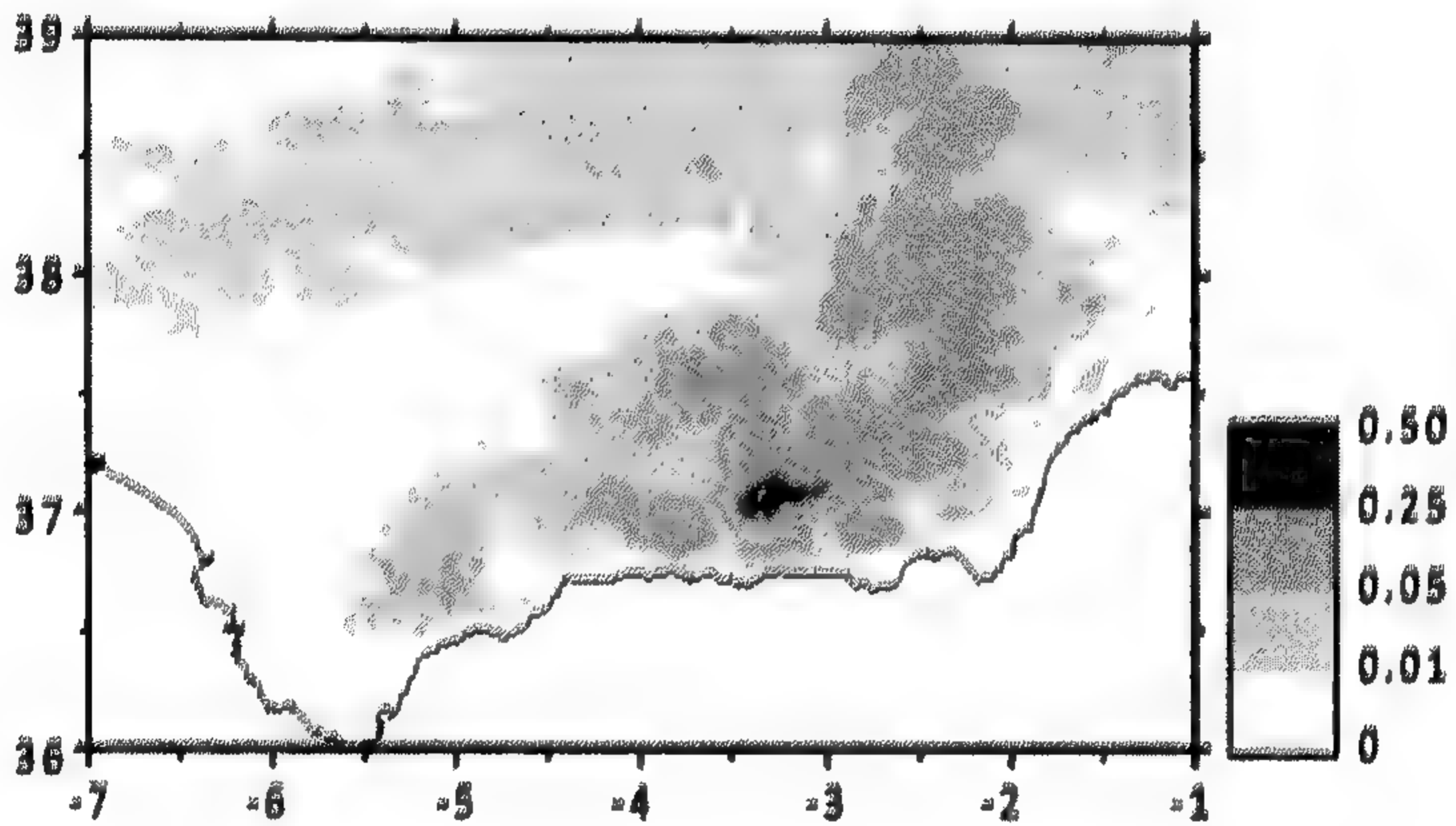


الشكل 3-43 تموج الجيويثيد حسب نماذج الجيويثيد العالمية (متر)

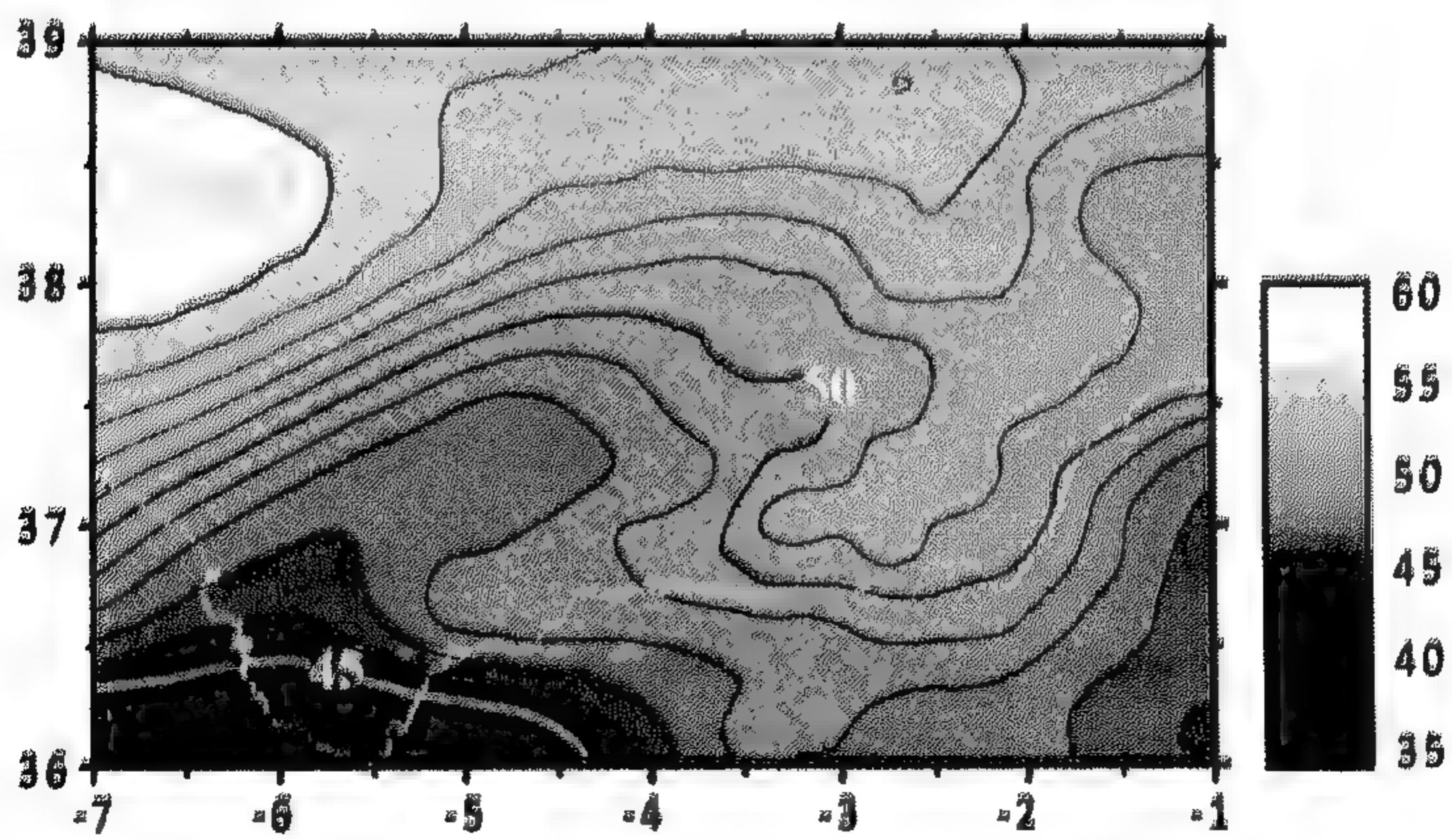
يوضح الشكل (3-43) قيم تموج الجيويثيد N_{GM} في منطقة الدراسة بالنسبة إلى نموذج الجيويثيد EIGEN-GL04C، ويبين الشكل (3-44) تأثير شذوذ الجاذبية $N_{\Delta g}$ ، بينما يتضمن الشكل (3-45) تصحيح التضاريس N_T . وتم تطبيق المعادلة السابقة على هذه النتائج لحساب قيمة N وتوليد نموذج محلي للجيويثيد في الشكل (3-46) بدقة مناسبة لمتطلبات المشروعات الهندسية في منطقة الدراسة (Determination of a Gravimetric Geoid Solution for Andalusia (South Spain), 2010).



الشكل 3-44 تأثير شذوذ الجاذبية (متر)



الشكل 3-45 تصحيح التضاريس (متر)



الشكل 3-46 النموذج المحلي لتموج الجيوييد (متر)

3.4.4.4. شبه الجيويدي

يتطلب تطوير نموذج محلي للجيويدي في منطقة باستخدام أرصاد الجاذبية تصحيح هذه القياسات من خلال معرفة كثافة القشرة في تلك المنطقة.

بدلاً من ذلك، يمكن استخدام أساليب تعمل بطريقة مستقلة عن كثافة القشرة في منطقة الدراسة، لكننا نحصل بدلاً من الجيويدي على شبه الجيويدي (quasi-geoid).

شبه الجيويدي، إذاً، هو تمثيل لمتوسط منسوب البحر مشابه للجيويدي وعلى مقربة منه، ولذلك تستخدم بعض الجهات شبه الجيويدي لأسباب عملية بدلاً من الجيويدي نظراً للفرق الصغير بينهما.

3.4.5. النظام المرجعي للإحداثيات الرأسية في برامج نظام المعلومات الجغرافية

كما ذكرنا في بحث النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية، يتوفر في معظم برامج نظام المعلومات الجغرافية ونظام تحديد المواقع العالمي والمساحة مكتبة مبنية من الأنظمة المرجعية للإحداثيات، ومنها الرأسية، وتقوم الشركات المطورة للبرمجيات بتضمين قاعدة البيانات هذه في برمجياتهم، كما تواظب على تحديثها مع إضافة أية أنظمة جديدة في قاعدة بيانات EPSG.

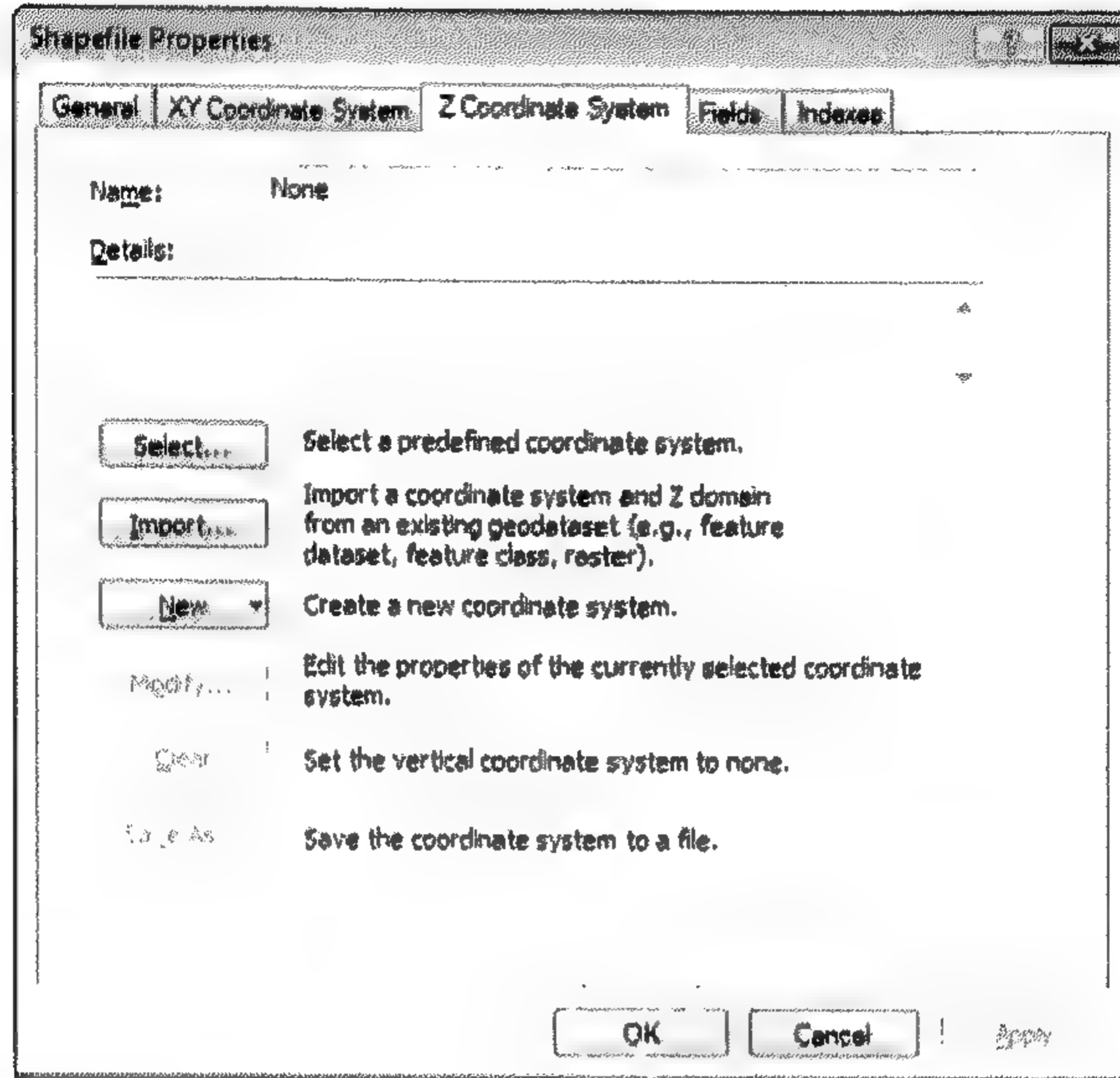
3.4.5.1. إعداد بيئة العمل

3.4.5.1.1. انتقاء نظام مرجعي للإحداثيات الرأسية

عند استيراد أو العمل مع بيانات ثلاثية الأبعاد، مثل النقاط التي لها قيمة Z بالإضافة إلى X و Y، في برامج نظام المعلومات الجغرافية يكون من الضروري تحديد النظام المرجعي للإحداثيات الرأسية الذي قيسَت هذه القيم بالنسبة إليه.



إذا كانت البيانات ثلاثية الأبعاد يمكن تعيين النظام المرجعي لإحداثياتها الرأسية في ArcCatalog بالوصول إلى خصائص تلك البيانات بالنقر فوق موقع البيانات المكانية في ArcCatalog وانتقاء Properties والانتقال إلى لسان التوبيو Z Coordinate System، حيث يمكن انتقاء النظام المرجعي من المكتبة المتوفرة في البرنامج بالنقر فوق الزر Select.



الشكل 3-47 تعيين النظام المرجعي للإحداثيات الرأسية للبيانات في ArcCatalog

ملاحظة: إذا كانت البيانات ثنائية الأبعاد فإن لسان التبويب Z Coordinate System لن يكون متوفراً في صندوق حوار خصائص البيانات المكانية السابق.

3.4.5.1.2 إنشاء نظام مرجعي للإحداثيات الرأسية



في صندوق الحوار السابق إذا لم يكن النظام المطلوب موجوداً يمكن النقر فوق الزر New لإنشاء نظام مرجعي جديد للإحداثيات الرأسية مبني على أحد نماذج الجيويثيد (ارتفاعات أورثومتريّة) أو على الجسم الإهليلجي (ارتفاعات إهليلجية).



يتطلب إنشاء نظام مرجعي للإحداثيات الرأسية في Oracle Spatial معرف نظام إحداثيات وحيد المحاور وكذلك معرف مرجع رأسي.

من الجدول MDSYS. SDO_COORD_SYS نجد معرف نظام الإحداثيات الرأسية الذي يعتمد العمق ويستخدم المتر وحدة للقياس:

6498

من الجدول MDSYS. SDO_DATUMS نجد معرف المرجع الرأسي Fahud Height Datum المستخدم في شركة تنمية نفط عُمان (Petroleum Development Oman):

5124

الآن يمكننا إنشاء النظام المرجعي الجديد كما يلي:

```
INSERT INTO MDSYS.SDO_COORD_REF_SYSTEM (SRID, COORD_REF_SYS_NAME,
COORD_REF_SYS_KIND, COORD_SYS_ID, DATUM_ID, SOURCE_GEOG_SRID,
PROJECTION_CONV_ID, CMPD_HORIZ_SRID, CMPD_VERT_SRID, INFORMATION_SOURCE,
DATA_SOURCE, IS_LEGACY, LEGACY_CODE, LEGACY_WKTEXT, LEGACY_CS_BOUNDS)
VALUES (9999999, 'Fahud Height Datum / Depth (m)', 'VERTICAL', 6498, 5124, NULL, NULL,
NULL, NULL, NULL, 'Myself', 'FALSE', NULL, NULL, NULL);
```

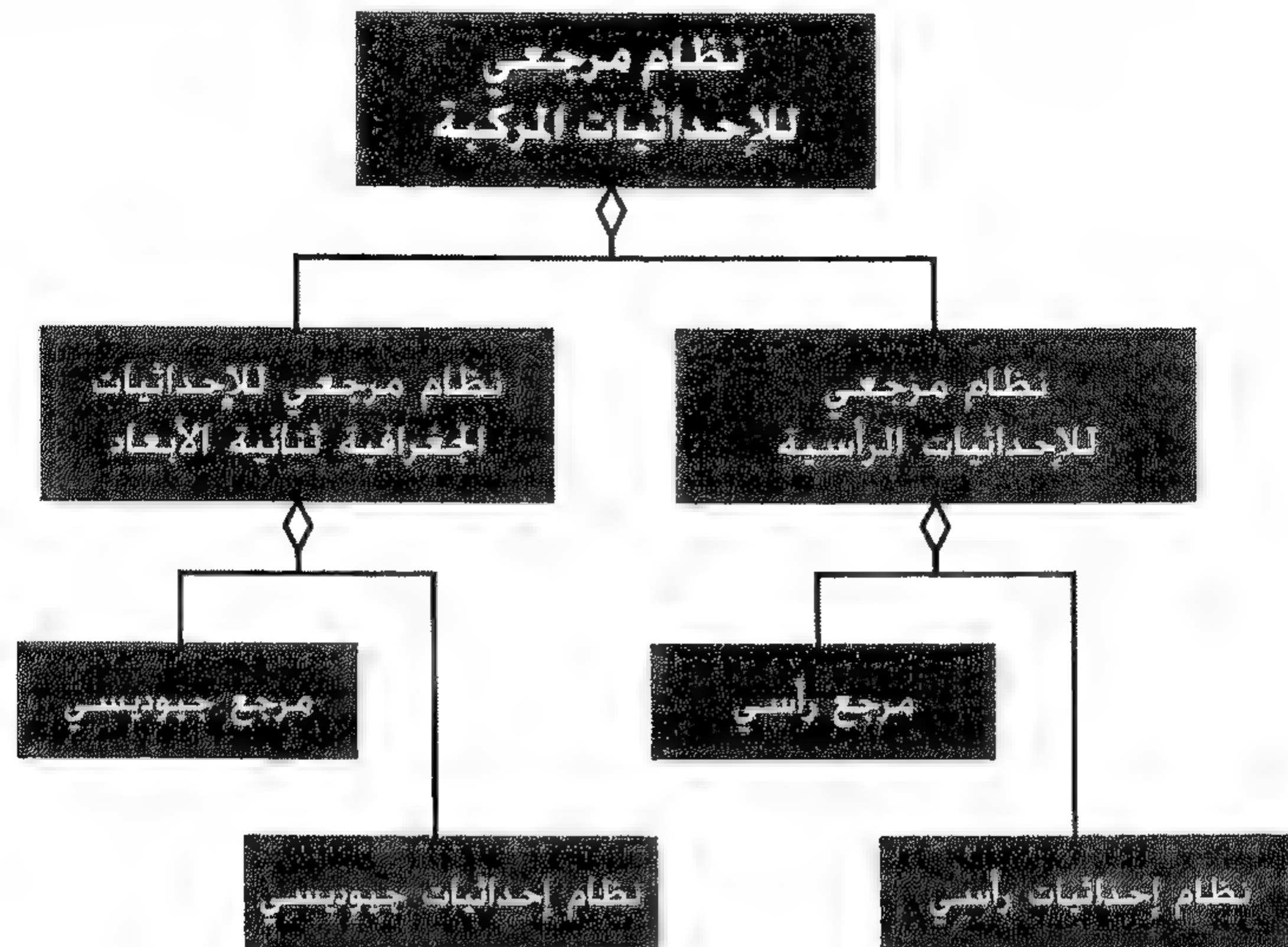
3.4.5.2 تحويل الإحداثيات الرأسية

يُعدّ تحويل الإحداثيات الرأسية بين الأنظمة المرجعية للإحداثيات من المتطلبات المهمة لمستخدمي نظام المعلومات الجغرافية وذلك لأهمية بيانات الارتفاعات والعمق في معظم المشروعات. تناولنا طريقة تصحيح الارتفاع في بحث تمّوج الجيويّد وسنتناول بالتفصيل عملية تحويل الإحداثيات الرأسية بين نظامين مرجعيين للإحداثيات الرأسية في فصل العمليات على الإحداثيات (انظر 5.2 تحويل الإحداثيات).

3.5 النظام المرجعي للإحداثيات المركبة

يصف النظام المرجعي للإحداثيات المركبة (compound coordinate reference system: CCRS) موقع النقاط أفقياً باستخدام نظام إحداثيات مرجعي، ورأسياً من خلال نظام إحداثيات مرجعي آخر، ويمكن إضافة البعد الرابع من خلال إضافة نظام مرجعي ثالث يكون مرجعاً للإحداثيات الزمانية. المثال التالي يوضح مكونات النظام المرجعي للإحداثيات المركبة.

الارتفاعات المبينة في الخرائط مقيسة في معظم الأحيان على سطح الجيويّد أو متوسط منسوب البحر المحلي، لكن زوايا العرض والطول في الخريطة جيوديسية مقيسة على المحسّم الإهليلجي، أو شرقيات وشماليات باستخدام النظام المرجعي للإحداثيات المسقط (إسقاط الخريطة) الذي تناولناه في البحث السابق هذا يعني أن الخريطة تعتمد نظاماً مرجعياً لإحداثيات مركبة.



الشكل 3-48 النظام المرجعي للإحداثيات المركبة

يشار إلى النظام المرجعي للإحداثيات المركبة في النص المعروف (WKT) اختصاراً بـ COMPD_CS، ويوضح المثال التالي النظام المرجعي للإحداثيات المركبة المسمى PSHD93 والمستخدم في عُمان:

```

COMPD_CS["PSHD93",
  GEOGCS["PDO Survey Datum 1993",
    DATUM["PDO Survey Datum 1993",
      SPHEROID["Clarke 1880 (RGS)",6378249.145,293.465,
        AUTHORITY["EPSG","7012"]],
      TOWGS84[-191.808,-250.512,167.861,-0.792,-1.653,8.558,4.270300283733636],
      AUTHORITY["EPSG","6134"]],
    PRIMEM["Greenwich",0.0,
      AUTHORITY["EPSG","8901"]],
    UNIT["degree",0.017453292519943295],
    AXIS["Geodetic latitude",NORTH],
    AXIS["Geodetic longitude",EAST],
    AUTHORITY["EPSG","4134"]],
  VERT_CS["PDO Height Datum 1993",
    VERT_DATUM["PDO Height Datum 1993",2005,
      AUTHORITY["EPSG","5123"]],
    UNIT["m",1.0],
    AXIS["Gravity-related height",UP],
    AUTHORITY["EPSG","5724"]],
  AUTHORITY["EPSG","7410"]]
  
```

توصف المواقع الأفقية في هذا النظام المركب بنظام مرجعي للإحداثيات الجغرافية هو PDO Survey Datum 1993، بينما تُوصف المواقع الرأسية باستخدام نظام مرجعي للإحداثيات الرأسية هو PDO Height Datum 1993.

3.6. الشبكة الجيوديسية الوطنية

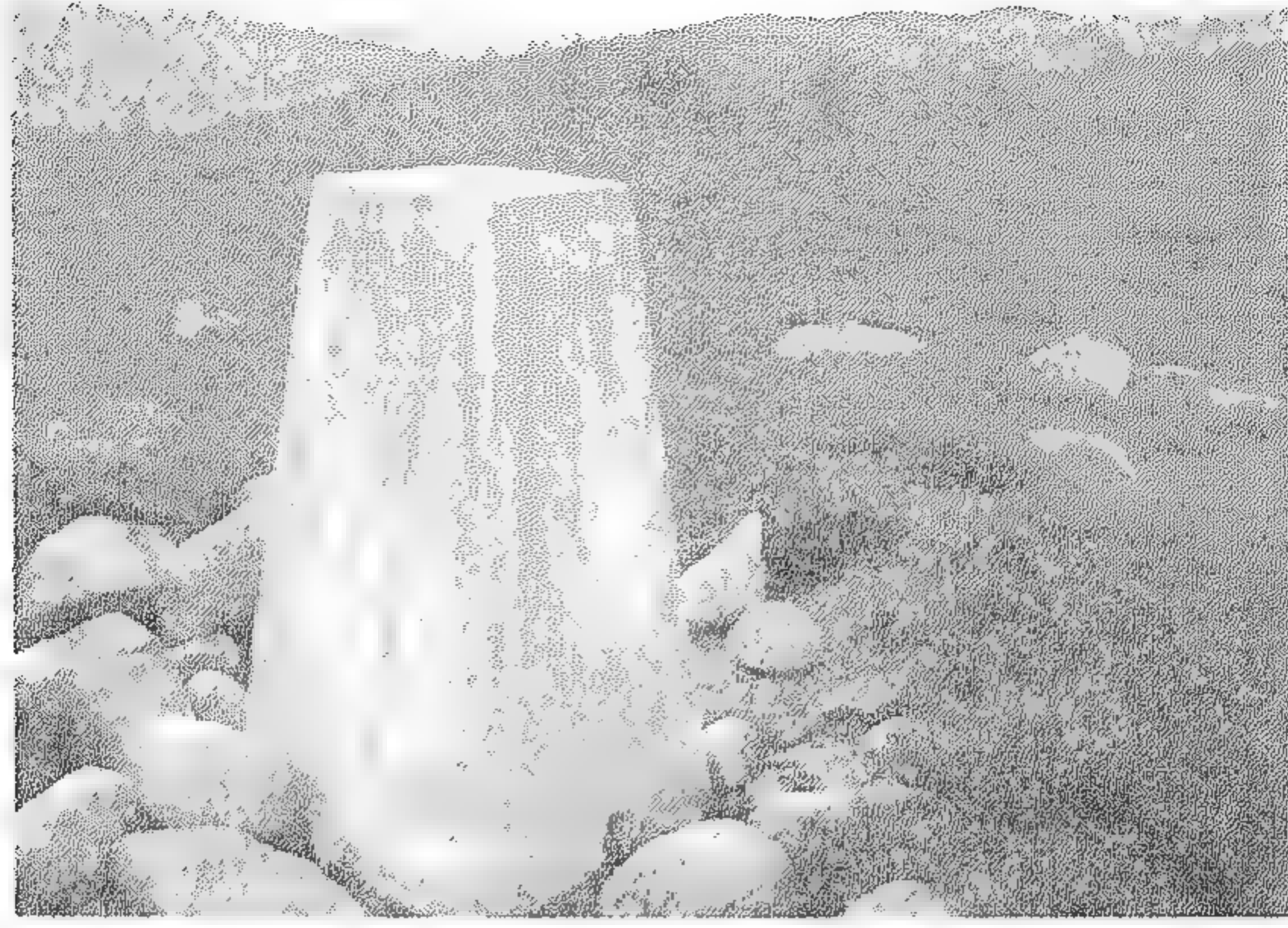
نظام الإحداثيات المرجعي هو مفهوم رياضي لا يمكن قياس الإحداثيات عليه مباشرة، فخطوط الطول والعرض مثلاً ليس مرسومة على سطح الأرض بحيث يمكن الانطلاق منها لقياس إحداثيات النقاط الأخرى، كما أن معظم المشروعات بعيدة جداً عن البحر ما يجعل من قياس الارتفاعات فيها مهمة مستحيلة.

من أجل ذلك، تقوم الجهة المختصة (البلدية أو هيئة المساحة الخ) ببناء شبكة من النقاط معلومة الإحداثيات تغطي أرجاء الدولة تسمى الشبكة الجيوديسية الوطنية (national geodetic network: NGN)، وتسمح هذه الشبكة بتوفير نقاط معلومة الإحداثيات يمكن الرجوع إليها مباشرة لتحديد إحداثيات وارتفاع النقاط الأخرى المجاورة التي تتطلبها الأعمال المساحية وإنتاج الخرائط الطبوغرافية والجيولوجية ومشروعات الخدمات في المؤسسات الحكومية والخاصة.

الشبكة الجيوديسية إذاً تمثيل فيزيائي أو تحقيق (realization) للمرجع الجيوديسي أو نظام الإحداثيات المرجعي، وهي إطار مرجعي أرضي (terrestrial reference frame: TRF) يتألف من نقاط مرجعية معلومة الإحداثيات يمكن رؤيتها وقياس إحداثيات مجهولة انطلاقاً منها.

تتألف هذه الشبكة من نقاط التحكم أو المحطات (control points or stations) المنصوبة (monumented) أي المبنية في الأرض أو المثبتة في جدران المباني، ويمكن تصنيف نقاط الشبكة إلى نوعين رئيسين:

- نقاط تحكم أفقية أو علامات تحكم (control marks) ويكون لها إحداثيات أفقية مقيسة بدقة عالية على المرجع الجيوديسي (الأفقي) المعتمد في نظام الإحداثيات المرجعي، وغالباً ما تشكل هذه النقاط شبكة من المثلثات غير المنتظمة.
- نقاط تحكم رأسية أو علامات منسوب (bench marks: BM) تبين ارتفاع النقطة فوق متوسط منسوب البحر (انظر 3.4.2 متوسط منسوب البحر). يتم إنشاء هذه النقاط على طول خطوط تسمى مسارات التسوية (level routes).



الشكل 3-49 علامة تحكم رئيسية من شبكة جيوديسية بريطانية (عن Peter Aikman)

بالإضافة إلى هذين النوعين الرئيسيين ثمة أنواع ثانوية من النقاط، منها محطات الجاذبية (gravity stations) وعلامات السميت (azimuth marks)، الخ.

تسمى نقطة التحكم الأفقية - من ناحية أخرى - إما محطة تثليث (triangulation station) أو محطة تضليع (traverse station)، وذلك حسب الطرق المساحية المستخدمة في إنشائها.

توفر الجهات المختصة أسماء ورموز وإحداثيات نقاط الشبكة الجيوديسية الوطنية، بالإضافة إلى ما وراء البيانات (metadata) لكل نقطة مثل دقة موقع النقطة وحالتها الراهنة، كما تقوم هذه الجهات بصيانة نقاط الشبكة الجيوديسية الوطنية بصورة دورية، حيث تتعرض النقاط إلى تدمير أحياناً نتيجة التطوير وتوسع العمران. كما تقوم هذه الجهات بتكثيف الشبكة من خلال إضافة نقاط تحكم ثانوية بين نقاط التحكم الرئيسية باستخدام أساليب المساحة الأرضية.

يفترض أن تكون الشبكة الجيوديسية الوطنية عالية الدقة وذلك لضمان ربط الخرائط والمشروعات وكافة المعالم على المستوى الوطني، لكن معظم الشبكات الجيوديسية الوطنية القديمة تعاني من خطأ نسبي مرتفع لأنها بنيت خلال فترة طويلة بطرق التثليث والتضليع وباستخدام أجهزة تقليدية مثل المزواة أي التيودوليت (theodolite)، كما أن دقة الأعمال المساحية فيها تختلف من جزء لآخر، مقارنة بما وصلت إليه تقنيات هذه الأيام من الدقة وخصوصاً نظام تحديد المواقع العالمي.



الشكل 3-50 علامة منسوب تبين الارتفاع فوق متوسط منسوب البحر (عن Art Boza)

منذ الستينيات وإلى الثمانينيات من القرن الماضي، ظهرت وانتشرت أجهزة القياس الإلكترونية ما أسهم في زيادة دقة الشبكة، ومع ظهور نظام الملاحة بالأقمار الاصطناعية ازدادت الدقة كثيراً، ولذلك تستخدم اليوم تقنية نظام المواقع العالمي بصورة رئيسية في تحديث مواقع نقاط التحكم الأفقية.

وبالإضافة إلى تحديث نقاط التحكم الأفقية باستخدام تقنية نظام تحديد المواقع العالمي، يتم تحديث نقاط التحكم الرأسية كلما تم تطوير نموذج جيويدي محلي أكثر دقة (انظر 3.4.4.3 الجيويدي المحلي).

في أيامنا هذه تسبح مئات الأقمار الاصطناعية الجيوديسية في مداراتها حول الأرض، ومعها الأقمار الاصطناعية التابعة لنظام GPS و GLONASS، كما ستضم إليها الأقمار الاصطناعية التابعة لنظام Galileo الأوروبي في العام 2013. وقد جعلت هذه التطورات من شبكة الأقمار الاصطناعية الجيوديسية والملاحية أكثر مرونة وفعالية من حيث التكلفة بالمقارنة مع الشبكة الجيوديسية الأرضية، ومع ذلك ما زالت هناك حاجة إلى وجود شبكة أرضية لأن الأعمال المساحية التجارية تفضل استخدام الأدوات التقليدية في المساحة الأرضية بدون الحاجة إلى كلفة إضافية ناتجة من أجهزة تدعم نظام تحديد المواقع العالمي، كما أن نقاط التحكم المنصوبة تمثل بديلاً في حال تعطل أو عدم وصول إشارة نظام تحديد المواقع العالمي، أو انخفاض جودتها في المناطق المزدحمة بالمباني المرتفعة.

من البدهي أن نقاط التحكم في الشبكات الجيوديسية العالمية تتحرك باستمرار مع حركة قشرة الأرض في حدود 2 إلى 20 سم كل عام، كما تتحرك أيضاً نتيجة للكوارث الطبيعية مثل الزلازل، ولذلك يستخدم الإطار المرجعي الأرضي الدولي (ITRF) لصيانة إحداثيات هذه النقاط أي تحويلها بصورة دورية (انظر 3.3.4 النظام/الإطار المرجعي الأرضي الدولي).

3.6.1. المواصفات القياسية للشبكة الجيوديسية

تطور الجهات المختصة (انظر أيضاً 2.5 المواصفات القياسية الوطنية) المواصفات الفنية والقياسية التي تتعلق ببناء الشبكات الجيوديسية مثل المواصفات الفنية للأجهزة المستخدمة في قياس إحداثيات نقاط الشبكة، والحدود القصوى المقبولة لأخطاء القياس ومستوى الدقة المطلوب في تحديد إحداثياتها الأفقية والرأسية، والتباعد الأقصى بين النقاط، والمواد المستخدمة في تركيبها والشروط الفنية لمواقع التركيب من أجل الحفاظ على ثباتها، وشروط سلامتها، الخ.

يتم عادة توحيد النظام المرجعي لإحداثيات نقاط التحكم في الشبكة الجيوديسية الوطنية، مثل استخدام الشرقيات والشماليات بالمتر في النقاط الأفقية (إذا كانت الإحداثيات مسقطية) والارتفاع الأورثومتري بالمتر في النقاط الرأسية، وبخاصة عندما تقوم أكثر من جهة بإنشاء هذه النقاط، لأن تعدد أنظمة الإحداثيات لنقاط التحكم الجيوديسية يجعلها أقل فائدة. من ناحية أخرى يسمح اختيار نظام مرجعي معروف لنقاط التحكم للمستخدمين ولبرمجيات التقنيات المكانية باستخدام هذه النقاط في تلك البرمجيات مباشرة دون الحاجة إلى تغيير أو تحويل إحداثياتها.

من ناحية أخرى يختلف تصنيف نقاط الشبكة الجيوديسية من حيث الأهمية حسب الدولة، ويمكن بصورة عامة تصنيف هذه النقاط كما يلي:

- نقاط رئيسية: نقاط الدرجة الأولى (1st order) ونقاط الدرجة الثانية، وتتميز هذه النقاط بدقة كبيرة.
- نقاط ثانوية: نقاط الدرجة الثالثة، ونقاط التكثيف (densification).

3.6.1.1 لجنة التحكم الجيوديسي الاتحادية (FGCC)

نشرت لجنة التحكم الجيوديسي الاتحادية (Federal Geodetic Control Committee: FGCC) المواصفات القياسية والفنية للشبكات الجيوديسية (Standards and Specifications for Geodetic Control Networks) في العام 1984 لتحديث مواصفتين قياسيتين نشرتهما في العامين 1974 و 1980. (FGCC, 1984)

يعتمد تصنيف علامة التحكم الأفقي في الشبكة الجيوديسية الوطنية - أي تعيين درجتها (order) وفئتها (class) - على العلاقة بين دقة الإحداثيات الأفقية للنقطة (العرض والطول الجيوديسيين) ودقة إحداثيات جميع النقاط الأخرى في شبكة التحكم الأفقي.

يُعبّر عن هذه العلاقة بدقة المسافة $1:a$ ، حيث دقة المسافة (distance accuracy) هي نسبة الخطأ الموقعي النسبي لزوج من نقاط التحكم إلى المسافة الأفقية بين هاتين النقطتين، وتحسب قيمة a فيها من العلاقة:

$$a = \frac{d}{s}$$

حيث s الانحراف المعياري المنتشر (propagated) في المسافة بين النقطتين، و d المسافة بين النقطتين.

ويبين الجدول التالي الحد الأدنى لدقة المسافة لكل فئة من فئات نقاط الشبكة:

التصنيف	الحد الأدنى لدقة المسافة
الدرجة الأولى	1:100,000
الدرجة الثانية - الفئة I	1:50,000
الدرجة الثانية - الفئة II	1:20,000
الدرجة الثالثة - الفئة I	1:10,000
الدرجة الثالثة - الفئة II	1:5,000

الجدول 3-8 المواصفات القياسية لدقة المسافة

يعتمد تصنيف علامة التحكم الرأسي بالطريقة ذاتها على العلاقة بين دقة الإحداثيات الرأسية للنقطة (الارتفاع فوق متوسط منسوب البحر) ودقة الإحداثيات الرأسية لجميع النقاط الأخرى في شبكة التحكم الرأسي.

يُعبّر عن هذه العلاقة بدقة فرق الارتفاع b ، حيث دقة فرق الارتفاع (elevation difference accuracy) هي نسبة خطأ الارتفاع النسبي لزوج من نقاط التحكم إلى الجذر التربيعي للمسافة الأفقية بين هاتين النقطتين على طول مسار التسوية (leveling route) بينهما.

$$b = \frac{S}{\sqrt{d}}$$

حيث d المسافة الأفقية التقريبية (كلم) بين مواقع نقاط التحكم على طول مسار التسوية الحالي، و S الانحراف المعياري المنتشر في فرق الارتفاع (ملم) بين النقطتين.

ويبين الجدول التالي الحد الأقصى لدقة فرق الارتفاع لكل فئة من فئات نقاط الشبكة:

التصنيف	الحد الأقصى لدقة فرق الارتفاع
الدرجة الأولى - الفئة I	0.5
الدرجة الأولى - الفئة II	0.7
الدرجة الثانية - الفئة I	1.0
الدرجة الثانية - الفئة II	1.3
الدرجة الثالثة	2.0

الجدول 9-3 المواصفات القياسية لدقة فرق الارتفاع

يعتمد تصنيف نقاط تحكم الجاذبية في الشبكة أيضاً على مستوى دقتها c ، الذي يحسب من المعادلة التالية:

$$c^2 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{(x_i - x_m)^2}{(n - 1)} \right) + e^2$$

حيث x_i قياس الجاذبية، و n عدد القياسات، و e خطأ عشوائي خارجي و x_m قيمة تحسب من المعادلة:

$$x_m = \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i}{n} \right)$$

يبين الجدول التالي المواصفات القياسية لدقة الجاذبية:

التصنيف	دقة الجاذبية (مليجال μGal)
الدرجة الأولى - الفئة I	20
الدرجة الأولى - الفئة II	20
الدرجة الثانية	50
الدرجة الثالثة	100

الجدول 10-3 المواصفات القياسية لدقة الجاذبية

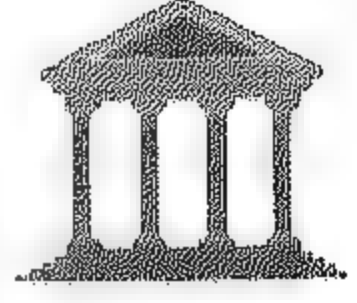
تغطي هذه المواصفة أيضاً المواصفات الفنية للشبكات الجيوديسية ذات الصلة بالأعمال المساحية المستخدمة في بناء وتوسعة الشبكة مثل التثليث والتضليع والمساحة بالقصور الذاتي (inertial surveying) والتسوية الجيوديسية والمساحة التصويرية وتحديد المواقع بالأقمار الاصطناعية باستخدام ظاهرة دوبلر وقياسات الجاذبية، ولكن تفاصيل ذلك تقع خارج نطاق هذا الكتاب.

3.6.1.2. اللجنة الاتحادية للبيانات الجغرافية

من المواصفات القياسية ذات الصلة بنقاط الشبكة الجيوديسية أيضاً المواصفات القياسية للشبكات الجيوديسية (Standards for Geodetic Networks) من اللجنة الاتحادية للبيانات الجغرافية (Federal Geographic Data Committee: FGDC) (انظر 2.5.3 اللجنة الاتحادية للبيانات الجغرافية) التي تحدد التصنيف القياسي للدقة الأفقية والرأسية في الشبكة الجيوديسية كما يلي:

تصنيف الدقة	سوية الثقة 95%	تصنيف الدقة	سوية الثقة 95%
أقل أو يساوي (متر)		أقل أو يساوي (متر)	
1 ملم	0.001	1 ديسيمتر	0.100
2 ملم	0.002	2 ديسيمتر	0.200
5 ملم	0.005	5 ديسيمتر	0.500
1 سم	0.010	1 م	1.000
2 سم	0.020	2 م	2.000
5 سم	0.050	5 م	5.000
		10 م	10.000

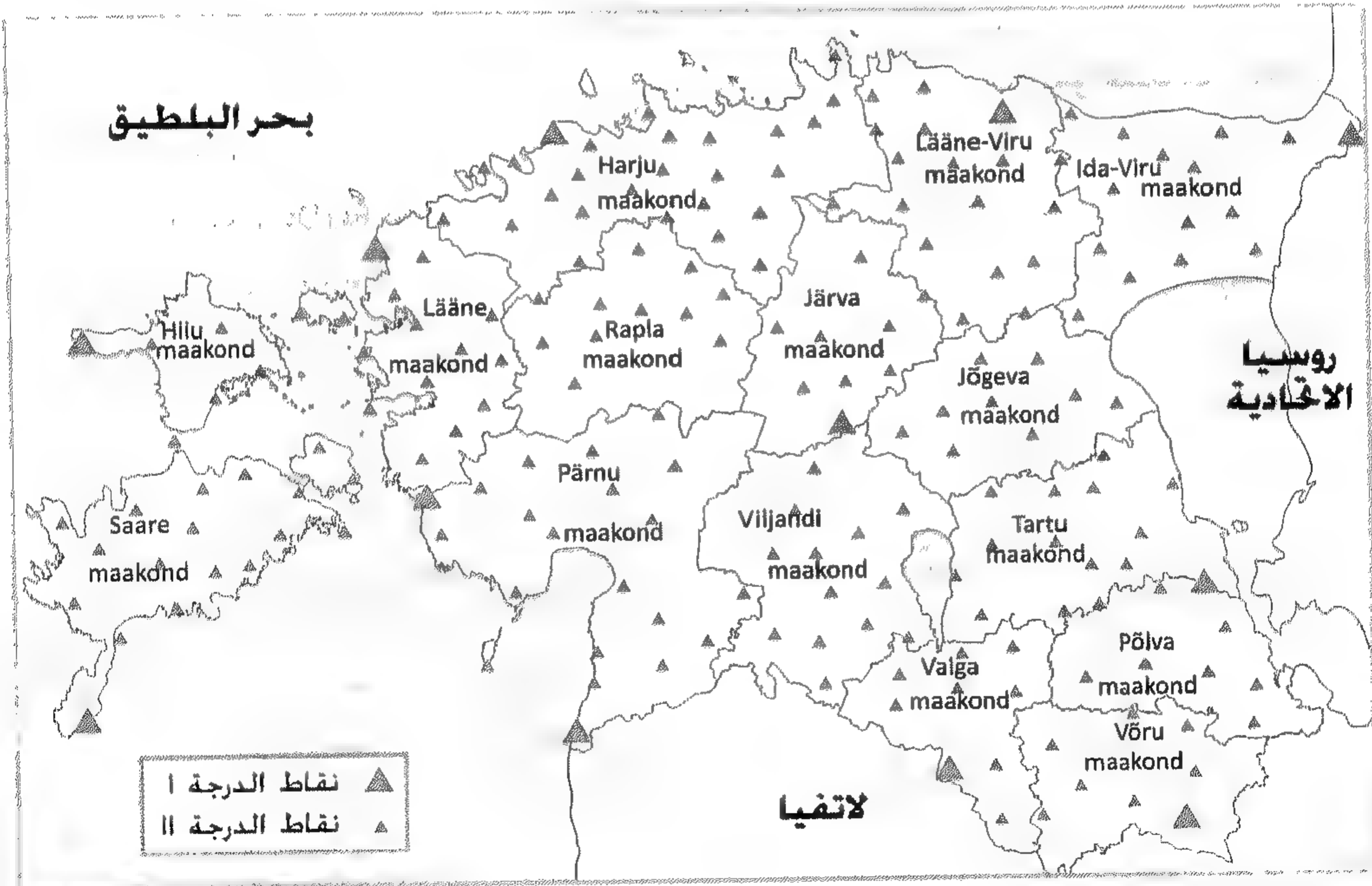
الجدول 11-3 مواصفات FGDC القياسية لدقة الشبكة الجيوديسية



تُعَدّ الشبكة الجيوديسية الوطنية من الأصول الثمينة في الدولة وتؤدي دوراً مهماً في التنمية والتطوير، ولذلك تعني الجهات المختصة بحماية وتطوير هذه الشبكة وتوسعتها وتصحيح إحداثياتها الأفقية والرأسية بصورة دورية، وستصادفك في حياتك العملية مشروعات تحسين الشبكة الجيوديسية من وقت إلى آخر.

3.6.2. مثال عن الشبكة الجيوديسية الوطنية

بصورة عامة لا تتوفر معلومات عن الشبكات الجيوديسية الوطنية وخرائطها لأسباب تتعلق بأمن المعلومات، ولذلك لم نوفّق إلى إيراد مثال من المنطقة العربية. بدلاً من ذلك سنتحدث عن الشبكة الجيوديسية الوطنية الأستونية التي يوفر موقع مجلس الأراضي في أستونيا (Estonia Land Board) على إنترنت بعض المعلومات والخرائط عنها.



الشكل 3-51 نقاط الدرجة الأولى والثانية في الشبكة الجيوديسية الوطنية الأستونية

تم تحديد إحداثيات الشبكة الوطنية الجيوديسية الأستونية بتقنية نظام تحديد المواقع العالمي، وتنقسم إلى نقاط الدرجة الأولى (13 نقطة) والدرجة الثانية (199 نقطة) ونقاط التكثيف. النقاط

الأساسية للشبكة هي نقاط مقيسة في الإطار المرجعي ITRF96 (انظر 3.3.4 النظام/الإطار المرجعي الأرضي الدولي)، وتصل كثافة الشبكة إلى 1 نقطة في كل 225 كلم مربع.

تم تركيب نقاط الدرجة الأولى والثانية في العام 1998، ويراوح متوسط المسافة بين النقاط المتجاورة من الدرجة الأولى بين 70 و110 كلم، و15 كلم بين نقاط الدرجة الثانية، مع خطأ متوسط التوزيع ± 1 سم في النقاط من الدرجة الأولى والثانية، وأخطاء نسبية 1:700000 و1:500000، على التوالي.

قامت شركات خاصة بتركيب نقاط التكتيف على مراحل خلال الفترة من 1992 إلى 2001، وتتألف هذه الشبكة من 3922 نقطة تم تحديدها بنظام تحديد المواقع العالمي، ويصل متوسط المسافة بينها إلى 5 كلم، بخطأ متوسط التوزيع في هذه النقاط بين ± 1 و ± 3 سم، وخطأ نسبي 1:250000.



بمناسبة الحديث عن السرية التي تحيط بها الجهات المختصة معلومات الشبكة الجيوديسية، ينشط بعض الهواة في جمع المعلومات عن نقاط الشبكات الجيوديسية وبناء قاعدة بيانات بها. الموقع التالي مثلاً يوفر قاعدة بيانات بعلامات المناسب في المملكة المتحدة:

<http://www.bench-marks.org.uk>

3.7. تعيين نظام الإحداثيات المرجعي في برامج نظام المعلومات الجغرافية

يصادف المستخدم في حياته العملية بيانات مكانية مجهولة النظام المرجعي، وبالتالي يجب عليه تعيين أو تعريف نظام الإحداثيات المرجعي (الجغرافي، المُسقط، المركب الخ) لها حتى تصبح ذات معنى.

تشبه هذه العملية وضع لصاقة على البيانات بحيث يمكن التعرف على نظامها المرجعي عند استخدامها في المرات القادمة، مع العلم أن هذه العملية لا تتضمن أي تحويل أو تعديل على البيانات، فإحداثياتها لا تتغير قيمتها بعد تعيين النظام المرجعي لها.

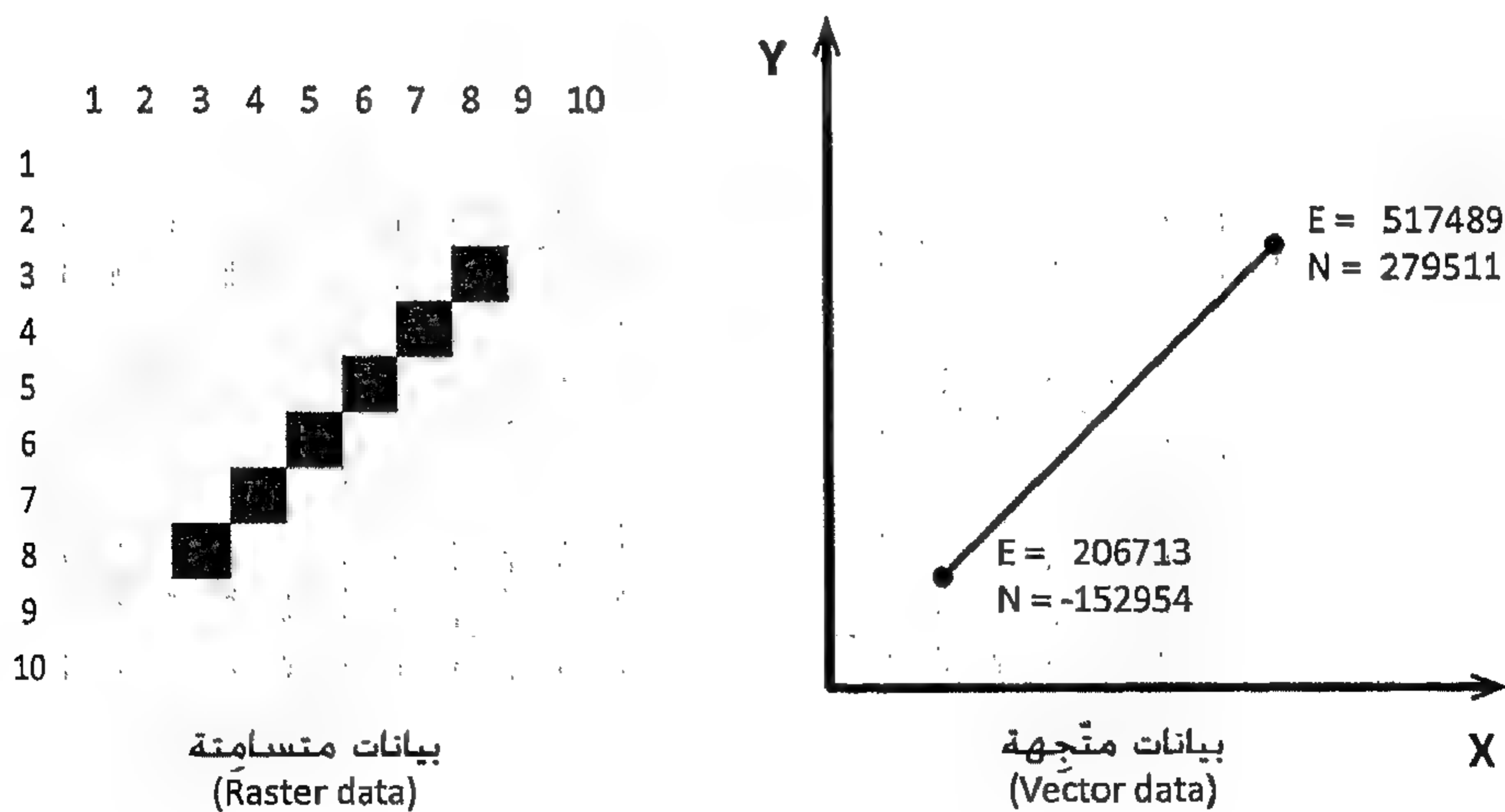
إذا كانت قيم الإحداثيات في البيانات المكانية محصورة بين ± 90 و ± 180 فيمكننا أن نستنتج أنها إحداثيات جغرافية، وأما إذا كانت هذه القيم كبيرة فهي على الأرجح إحداثيات مسقطة.

لكن هذا لا يكفي لمعرفة النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية أو النظام المرجعي للإحداثيات المسقطة التي قيست إليه هذه الإحداثيات، نظراً لوجود المئات من هذه الأنظمة. يتطلب استنتاج النظام المرجعي خبرة بالعمل في المؤسسة ومعرفة بالأنظمة المرجعية المحتملة، بالإضافة إلى القيام ببعض التجارب.

بعد التأكد من النظام المرجعي لإحداثيات البيانات المكانية يجب تعيين نظام الإحداثيات المرجعي لها باستخدام الأدوات المتوفرة لهذا الغرض في برامج نظام المعلومات الجغرافية. تنفذ هذه العملية أيضاً لتصحيح اسم النظام المرجعي لإحداثيات بيانات إذا تم تعريف نظامها المرجعي بطريقة الخطأ.

عند إضافة البيانات المكانية ذات الأنظمة المرجعية المختلفة من مصادر متعددة تستطيع برامج نظام المعلومات الجغرافية تحويلها تلقائياً إلى نظام إحداثيات ملف الخريطة بحيث تتراكب بصورة صحيحة، ولا تُدخل أية تعديلات على إحداثيات البيانات الأصلية، لأن البرامج تقوم بذلك لحظياً (on the fly) لأغراض العرض فقط، ومن هنا تأتي أهمية تعيين النظام المرجعي لإحداثيات البيانات التي نعمل عليها.

تختلف الخطوات المطلوبة لتعيين نظام الإحداثيات المرجعي بين البيانات المتجهة (vector data) والبيانات المتسامتة (raster data) قليلاً نظراً لاختلاف طبيعة الإحداثيات بين هذين النوعين من البيانات.



الشكل 3-52 البيانات المتجهة والبيانات المتسامتة

البيانات المتجهة (vector data) هي البيانات التي تتألف من أشكال هندسية تُمثل بمعادلات رياضية، مثل النقطة والخط والمضلع الخ، ويتم تخزين قيم الإحداثيات الجغرافية أو الإحداثيات المُسقطَة الخ في هذه البيانات، بينما تتألف البيانات المتسامتة (raster data) من مجموعة كبيرة من الخلايا أو البكسلات وتكون مرتبة في صفوف وأعمدة مثل الصور الجوية وصور الأقمار الاصطناعية والصور المسوحة (scanned)، ويُعبّر عن إحداثيات الخلايا فيها بطريقة بسيطة هي رقم الصف ورقم العمود، وليس الإحداثيات الجغرافية أو الإحداثيات المُسقطَة الخ.

إذاً أين ستعرض الصورة في برامج نظام المعلومات الجغرافية؟

لا يكفي تعريف النظام المرجعي للبيانات المتسامتة للعمل في برامج نظام المعلومات الجغرافية مع هذا النوع من البيانات بل يجب إسناد الصورة جغرافياً (georeferencing) أو ربطها (correlate) مع نظام الإحداثيات المرجعي.

البيانات المتسامتة معروفة النظام المرجعي وغير المسندة جغرافياً تظهر في برامج نظام المعلومات الجغرافية في موقع غير صحيح، مثل إدراج الزاوية العليا اليسرى للصورة في النقطة (0, 0).

بعض هيئات (formats) البيانات المتسامتة مثل ملفات ERDAS وIMAGINE وBSQ وBIL وGeoTiff وGRID وGeoSPOT تدعم حفظ النظام المرجعي ومعلومات الإسناد الجغرافي أو الارتباط (correlation) للصورة في ترويسة (header) الملف، أما الهيئات الأخرى التي لا تدعم هذه الميزة فيجب حفظ معلومات نظام الإحداثيات المرجعي في ملف مرافق (الملف aux في ArcGIS) ومعلومات الإسناد الجغرافي في ملف مرافق آخر يسمى عادةً ملف العالم (world file).

بهدف تنظيم المعلومات في هذا الكتاب سنفترض أن البيانات المتسامتة في الأمثلة التالية مُسندة جغرافياً أو تأتي مع ملف العالم المرافق ومعروفة النظام المرجعي، بينما سنتناول بالتفصيل تسجيل البيانات المتسامتة وبنية ملف العالم في الفصل الثالث (انظر 5.3 عمليات أخرى على الإحداثيات).

مشروع:

لدينا بيانات مكانية متجهة ومتسامتة تمثل الشوارع في مدينة أسيوط في مصر تظهر عند تحميلها في برامج نظام المعلومات الجغرافية مجهولة النظام المرجعي. يراد تعريف النظام المرجعي لإحداثيات هذه البيانات علماً بأن إحداثياتها جغرافية منسوبة إلى Egypt 1907.

الحل:



يُعيّن النظام المرجعي للبيانات المتجهة في ArcGIS من خلال الأداة Define Projection في ArcToolbox.

انقر فوق زر ArcToolbox في ArcMap أو ArcCatalog وانتقل إلى:

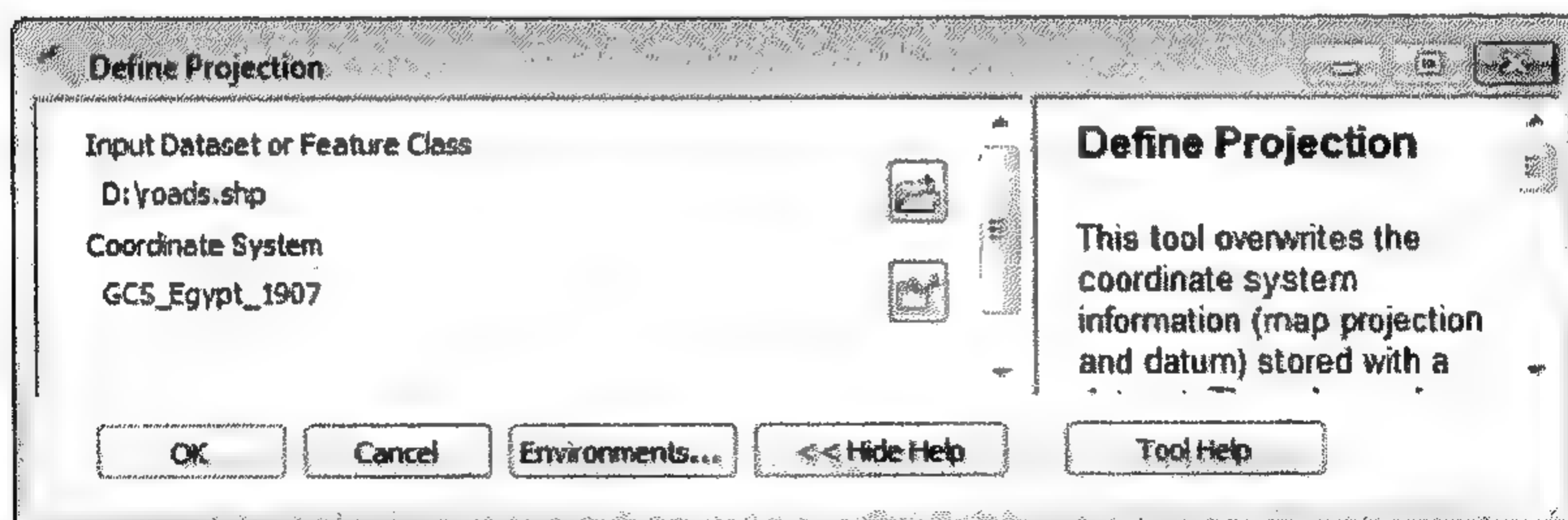
Data Management Tools > Projections and Transformations > Define Projection

انقر فوق زر Browse وانتق الملف roads.shp إذا لم تقم بتحميله في ArcMap أو انتق roads من القائمة المنسدلة Input Dataset or Feature Class. يتعرف ArcGIS على النظام المرجعي لإحداثيات البيانات roads ويقوم بعرض عبارة Unknown تلقائياً في مربع الإدخال Coordinate System.

نحدد النظام المرجعي الهدف أي Egypt 1907 بالنقر فوق زر مكتبة الأنظمة المرجعية، وفي صندوق الحوار Spatial Reference Properties ننقر فوق الزر Select ونختار:

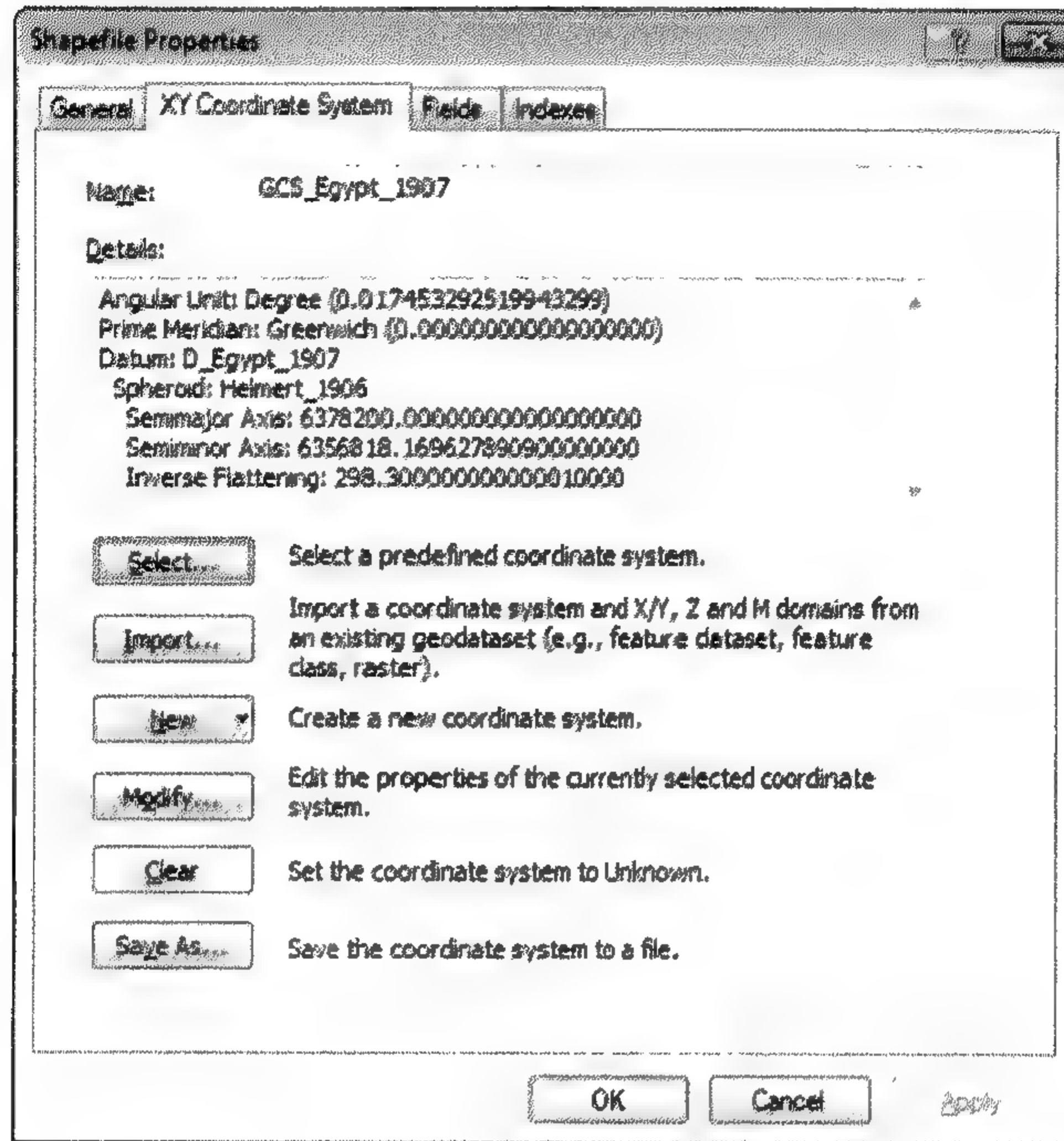
Predefined > Geographic Coordinate Systems > Africa > Egypt 1907.prj

ثم ننقر فوق الزر Add ثم الزر موافق.



الشكل 3-53 تعيين النظام المرجعي لإحداثيات البيانات المكانية في ArcGIS

ملاحظة: يستخدم ArcGIS هنا مصطلح Projection، ولكن هذه الأداة تقوم بتعريف النظام المرجعي للبيانات سواء أكانت الإحداثيات جغرافية أم إحداثيات مسقط أم إحداثيات مركبة الخ.



الشكل 3-54 إزالة النظام المرجعي عن إحداثيات البيانات المكانية في ArcGIS

يمكن في ArcGIS تعيين وإزالة تعريف النظام المرجعي عن البيانات المكانية بطريقة أخرى بالنقر فوق البيانات المكانية في ArcCatalog بزر الفأرة الأيمن وانتقاء Properties والانتقال إلى لسان التبويب XY Coordinate System والنقر فوق زر Select لتعريف النظام أو الزر Clear لإزالته وجعله نظاماً مجهولاً.

يُعرّف النظام المرجعي للبيانات المتسامة في ArcGIS بالأداة ذاتها التي يُعرّف فيها النظام المرجعي للبيانات المتجهة. عند تعريف النظام المرجعي للبيانات المتسامة في ArcGIS فإنه يقوم بإنشاء ملف العالم تلقائياً بالإضافة إلى الملف المساعد (auxiliary file) الذي يحمل الامتداد aux أو aux.xml ويتضمن معلومات متنوعة منها النظام المرجعي للبيانات المتسامة. لكن هذا الملف المساعد لا تدعمه إلا برمجيات ESRI و ERDAS.

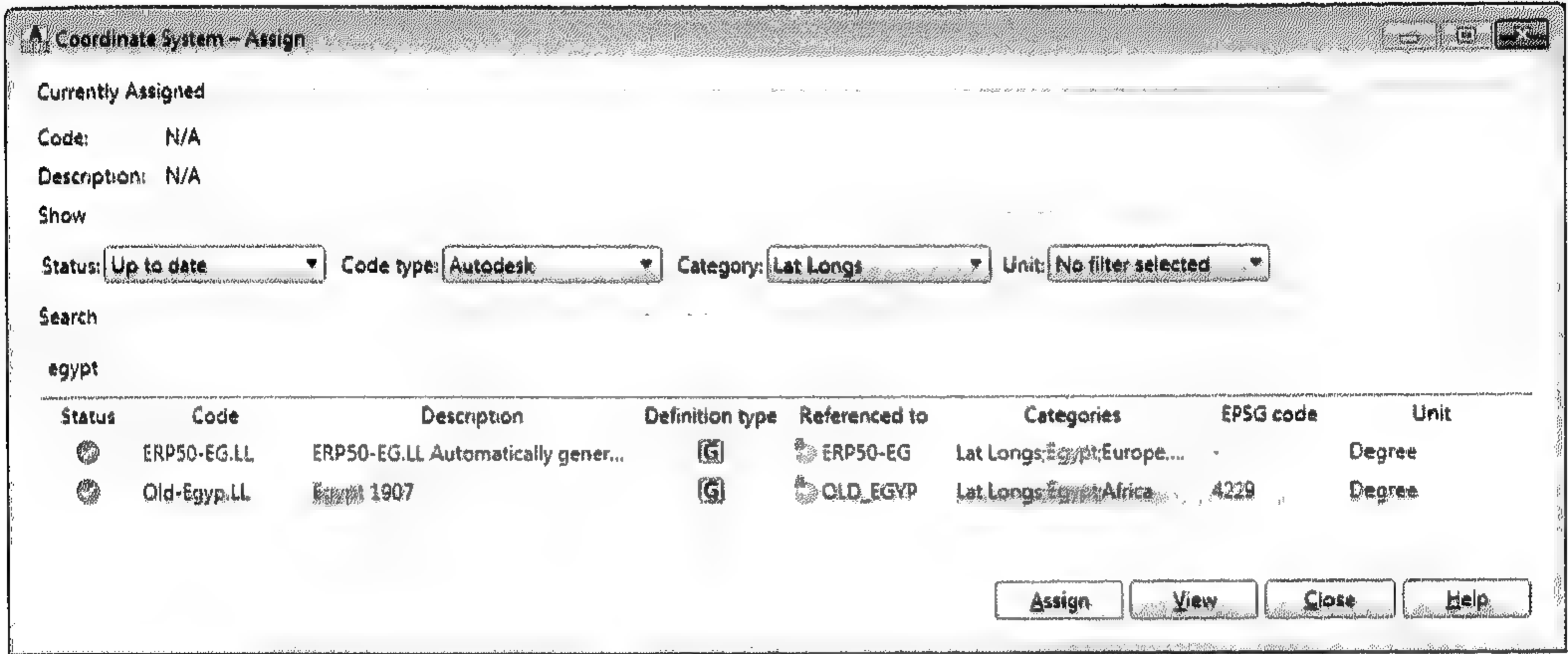
**AutoCAD®
Map 3D**

يُعيّن نظام الإحداثيات المرجعي لملف الخريطة الحالي في AutoCAD Map 3D باستخدام الأمر
:Assign Global Coordinate System

Menu: Setup > Assign Global Coordinate System

Ribbon: Map Setup > Coordinate System > Assign

Command: MAPCSASSIGN



الشكل 3-55 صندوق حوار Coordinate System - Assign في AutoCAD Map 3D

في مربع الحوار Coordinate System - Assign يمكن انتقاء نظام الإحداثيات من المكتبة المتوفرة، أو استخدام المرشحات (filters) المتوفرة للوصول إلى النظام Egypt 1907 بسرعة، ثم نقر فوق الزر Assign، وبعد تعيين النظام المرجعي نقوم بحفظ ملف الخريطة.

لإزالة النظام المرجعي نستخدم الأمر Assign Global Coordinate System:

Command: ADESETCRDSYS

في مربع الحوار، ندخل نقطة (.) في مربع الإدخال Code في المجموعة Current Drawing، ونقر فوق الزر موافق.

يُعرف النظام المرجعي للبيانات المتسامة في AutoCAD Map 3D بإدراج الصورة في ملف يطابق النظام المرجعي لإحداثياته النظام المرجعي لإحداثيات الصورة، وبعد ذلك يمكن استخدام الملف الناتج بطريقتين:

- العمل على الملف ذاته
- إرفاقه في ملف ثان وسيقوم AutoCAD Map 3D بعرض الصورة في الموقع الصحيح مع إعادة إسقاط الصورة بحيث تطابق النظام المرجعي للملف الثاني إذا لم يكن مطابقاً للنظام المرجعي لإحداثيات الملف الأول.



نعلم من الجدول أن معرف النظام المرجعي Egypt 1907 هو 4229، ويمكن التأكد من ذلك من خلال تعليمة SQL التالية:

```
SQL> SELECT "SRID", "COORD_REF_SYS_NAME", "COORD_REF_SYS_KIND" FROM
"MDSYS"."SDO_COORD_REF_SYS" WHERE COORD_REF_SYS_NAME LIKE '%Egypt 1907%'
AND COORD_REF_SYS_KIND = 'GEOGRAPHIC2D';
```

SRID	COORD_REF_SYS_NAME	COORD_REF_SYS_KIND
4229	Egypt 1907	GEOGRAPHIC2D

```
SQL>
```

يُعرف النظام المرجعي للبيانات في جدول user_sdo_geom_metadata، وهو الجدول الذي يتم فيه تخزين ما وراء البيانات (metadata) لطبقات البيانات المكانية:

```
SQL> INSERT INTO user_sdo_geom_metadata VALUES ('ROADS','SHAPE',
2 MDSYS.SDO_DIM_ARRAY(
3 MDSYS.SDO_DIM_ELEMENT('LONGITUDE',-180,180,0.05),
4 MDSYS.SDO_DIM_ELEMENT('LATITUDE',-90,90,0.05)
5 ),
6 4229
7 );
```

1 row created.

```
SQL> commit;
```

Commit complete.

بطريقة مشابهة يمكن إزالة تعريف النظام المرجع للبيانات بحذف السجل ذي الصلة بهذه البيانات من الجدول:

```
SQL> DELETE FROM USER_SDO_GEOM_METADATA WHERE TABLE_NAME = 'ROADS';
```

1 row deleted.

```
SQL> COMMIT;
```

Commit complete.

```
SQL>
```

يمكن في Oracle Spatial استخدام البرنامج الفرعي setSRS في الحزمة SDO_GEOR لتعريف النظام المرجعي للبيانات المتسامة، لكن هذا الإجراء يتضمن أيضاً الإسناد الجغرافي للبيانات ولذلك سنناقش تعريف النظام المرجعي للبيانات المتسامة في الفصل الثالث (انظر 5.3 عمليات أخرى على الإحداثيات).



يمكن في FME تعيين وإزالة تعريف نظام الإحداثيات المرجعي عن البيانات المكانية باستخدام **المحوّلات (transformers) التالية:**

المحوّل	الشرح
CoordinateSystemSetter	يعرّف نظام الإحداثيات المرجعي للبيانات المكانية ولكنه لا يقوم بتحويلها أو إدخال أية تعديلات عليها.
CoordinateSystemRemover	يزيل تعريف نظام الإحداثيات المرجعي المرفق بالبيانات المكانية ولكنه لا يقوم بتحويلها أو إدخال أية تعديلات عليها.

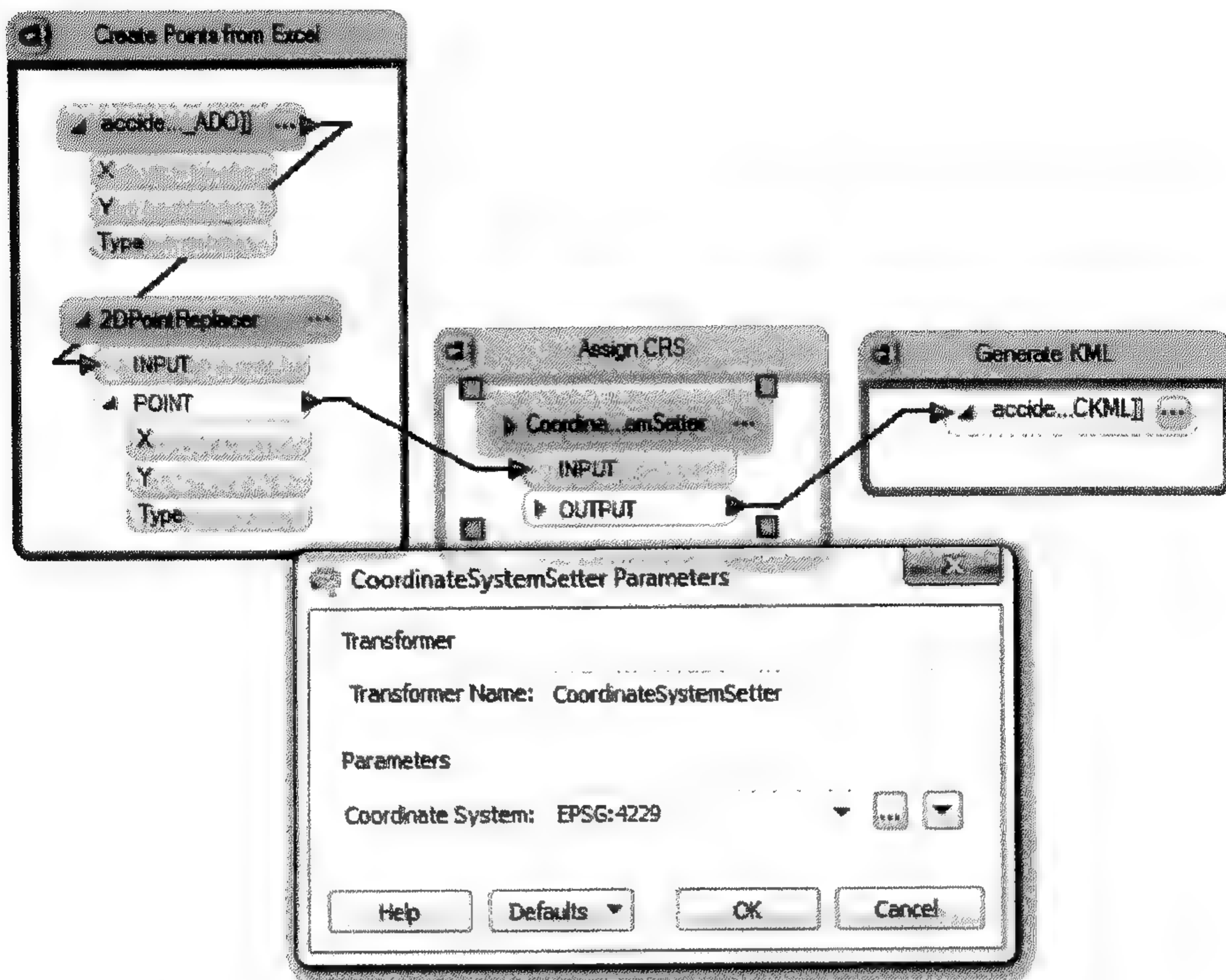
الجدول 12-3 محوّلات تعيين وإزالة تعريف نظام الإحداثيات المرجعي في FME

مشروع:

بالإضافة إلى البيانات في المثال السابق لدينا جدول في هيئة Excel يتضمن حوادث المرور في مدينة أسيوط ويشير الحقلان X و Y فيه إلى إحداثيات حوادث المرور منسوبة إلى Egypt 1907. يراد إنشاء بيانات مكانية في هيئة KML لاستخدامها في Google Earth.

الحل:

نقوم بإنشاء البيانات المكانية (النقاط) التي تمثل الحوادث من جدول Excel باستخدام المحوّل 2DPointReplacer. لا تمتلك هذه البيانات أية معلومات عن نظام الإحداثيات المرجعي، ولذلك نقوم بتحويل الناتج وتعيين النظام المرجعي لإحداثيات النقاط باستخدام المحوّل CoordinateSystemSetter من خلال صندوق الحوار CoordinateSystemSetter Parameters، ومن ناتج العملية نقوم بإنشاء البيانات في هيئة KML.



الشكل 3-56 استخدام المحوّل CoordinateSystemSetter في FME

الإسقاط والإحداثيات المسقطية

يعني إسقاط الخريطة تحويل الإحداثيات الجغرافية من الفضاء ثلاثي الأبعاد إلى إحداثيات على سطح ثنائي الأبعاد أي الخريطة التي تعتمد نظاماً مرجعياً للإحداثيات المسقطية

ساقش في هذا الفصل:

- القياسات على الأرض، اتجاه الشمال، السمات والاتجاه والمسار الأقصر
- الانعكاس على المقياس
- كيف يعمل الإسقاط ووسطاء إسقاط الخريطة
- تقسيم أنواع الإسقاط، الإسقاط السمتي والمخروطي والأسطواني
- الإسقاط في برامج نظام المعلومات الجغرافية

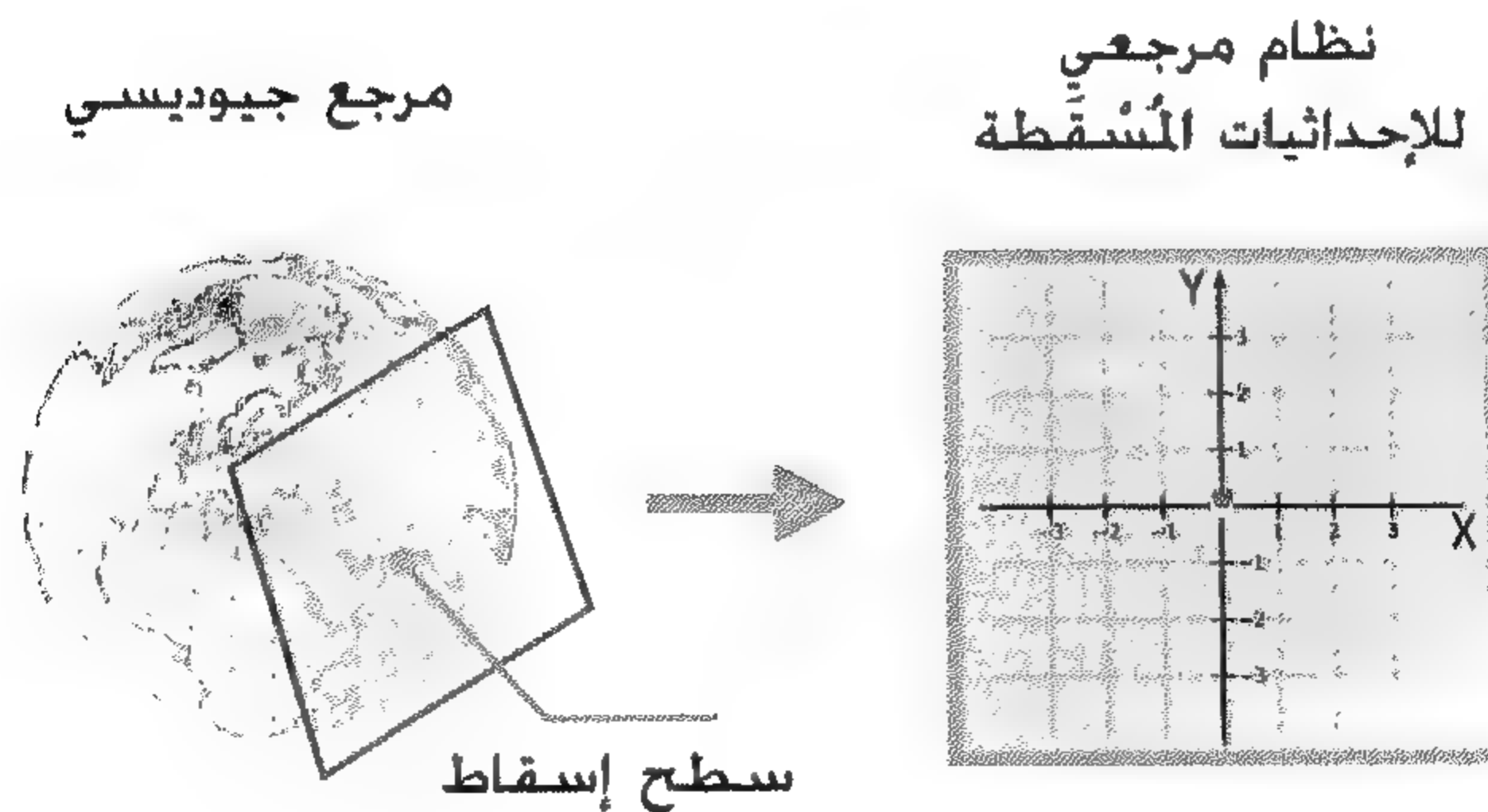
4. الإسقاط والإحداثيات المسقطة

4.1. ما الإسقاط؟

بعد رصد إحداثيات المعالم على سطح الأرض بالاعتماد على النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية، نحتاج إلى توقيع هذه الإحداثيات على سطح مستو وذلك لسهولة التعامل معه بدلاً من توقيعها على نموذج كروي. إن فكرة استخدام نموذج كروي أو إهليلجي لرسم الخرائط تعاني من العيوب التالية:

- باستثناء الأهداف التعليمية للأطفال واستخدامه للزينة، لا يمكن الاستفادة من نموذج كروي أو إهليلجي أثناء تنفيذ المهام اليومية، ولا يمكن التنقل به بسهولة.
- لو افترضنا إمكانية التعامل مع هذا النموذج فسنحتاج إلى مجسم ضخم جداً لعرض التفاصيل الصغيرة التي نتعامل معها مثل المباني وخطوط الخدمات، وبالتالي تكون كلفة إنتاجه مرتفعة جداً.
- يصعب إجراء القياسات وتحديد الاتجاهات على النموذج الكروي.
- تستخدم الأعمال اليومية قياسات طولية (المتر أو القدم) ويصعب جداً التعامل مع الإحداثيات الجغرافية.

تسمح الإحداثيات المسقطة (projected coordinates) بالتعامل مع المساحات الصغيرة من الأرض بسهولة، إذ لا تتطلب إجراء أية تحويلات على القياسات الهندسية والمساحية ويمكن توقيع الأطوال والزوايا بزمان قصير وبدون الحاجة إلى التعامل مع الإحداثيات الجغرافية، نظراً لإهمال انحناء الأرض ضمن المساحات الصغيرة.



الشكل 4-1 مفهوم الإسقاط



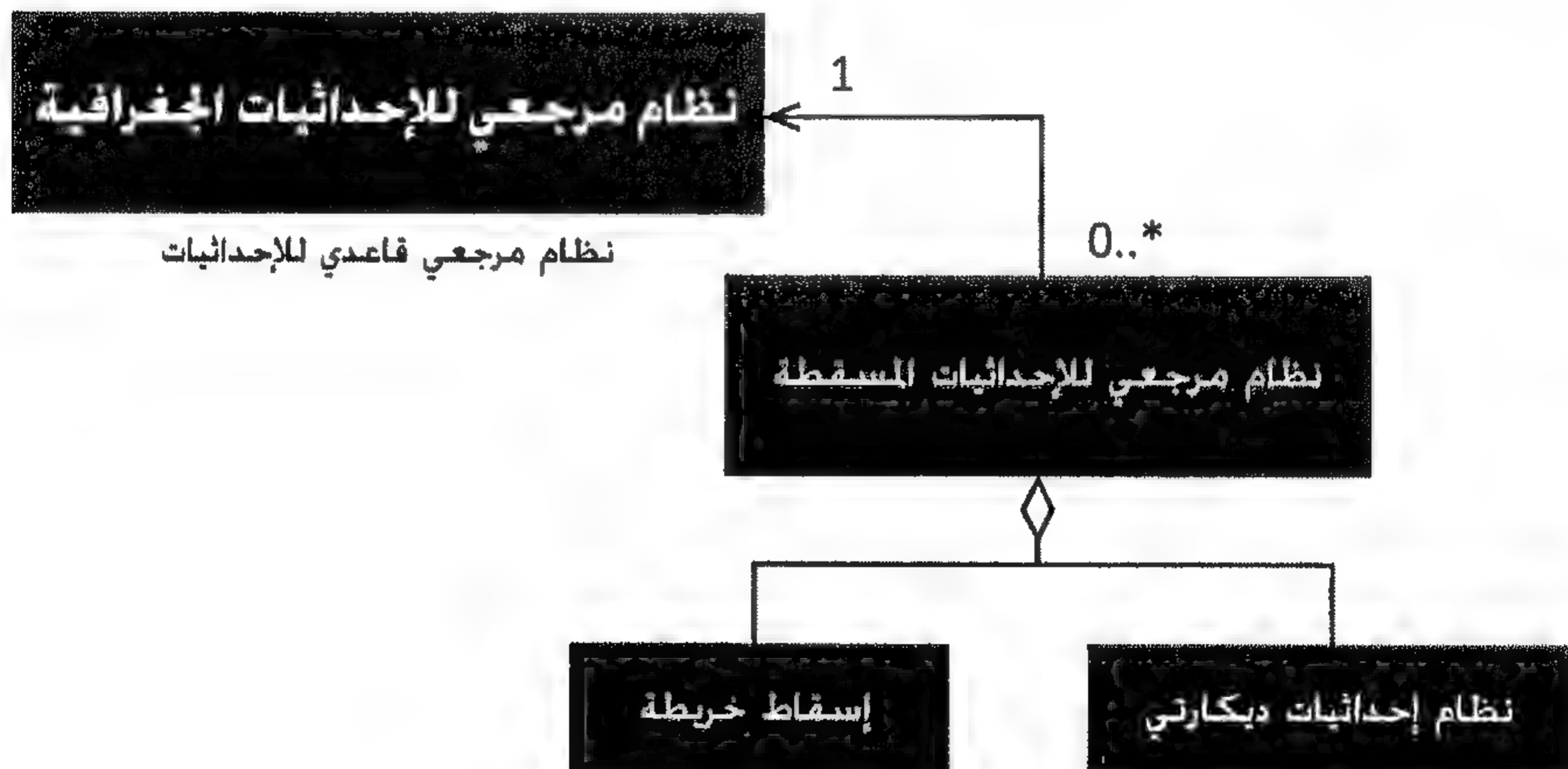
تسمى الإحداثيات المسقطة أيضاً الإحداثيات التربيعية (grid coordinates) أو الإحداثيات المستوية (plane coordinates) أو إحداثيات الخريطة (map coordinates).

لأن الإسقاط يقوم بتحويل قيمة الإحداثيات فإنه يصنّف في فئة العمليات على الإحداثيات (انظر 5 العمليات على الإحداثيات)، ولكن نظراً لتنوع أنظمة الإسقاط وحجم التفاصيل المطلوب عرضها تم إفراده في هذا الفصل المستقل.



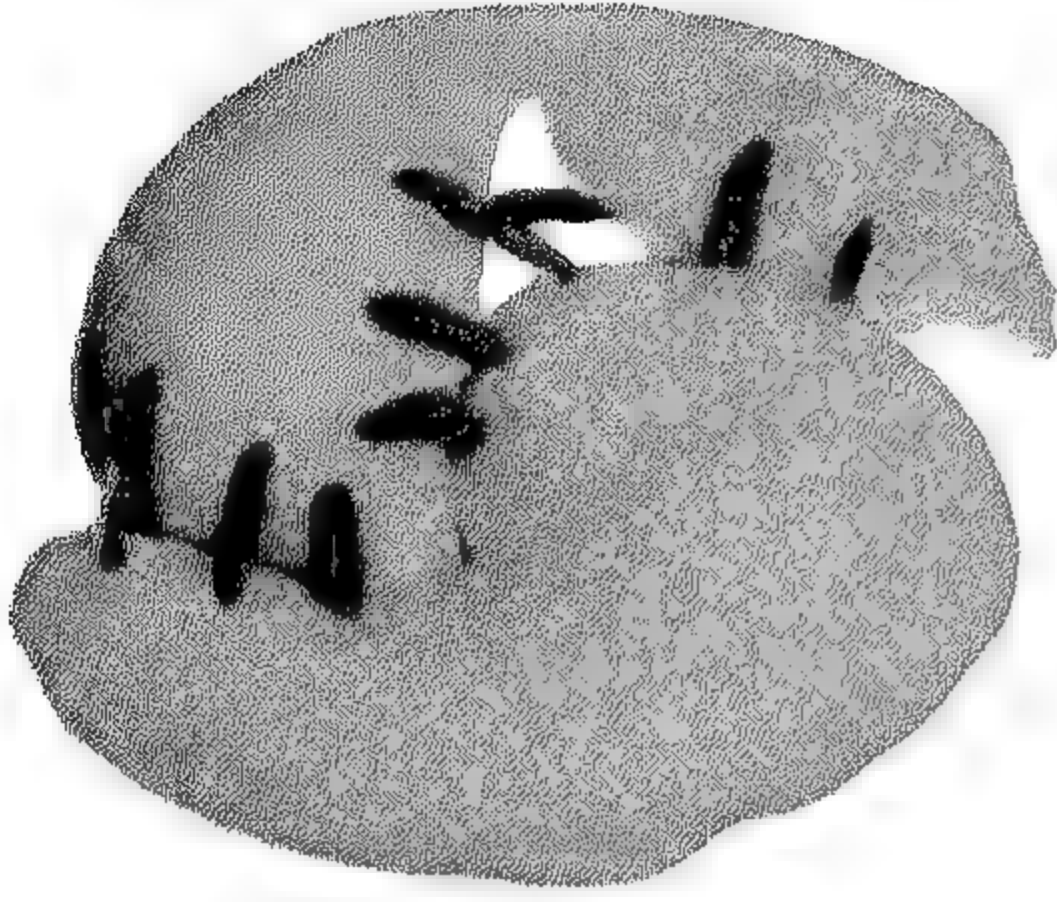
يسمى الإسقاط في بعض المصادر العربية الارتسام والتسطيح أيضاً. كلمة تسطّيح استخدمها البيروني في رسالته "الاستيعاب في تسطّيح الكرة".

يعني إسقاط الخريطة تحويل الإحداثيات الجغرافية من الفضاء ثلاثي الأبعاد إلى إحداثيات على سطح ثنائي الأبعاد في نظام مرجعي للإحداثيات المُسَقَّطة (projected coordinate reference system: ProjCRS)، وذلك باستخدام طرق الإسقاط المعروفة. يمكن نظرياً توليد العديد من الأنظمة المرجعية للإحداثيات المُسَقَّطة من نظام مرجعي واحد للإحداثيات الجغرافية وذلك بتطبيق طرق إسقاط مختلفة واستخدام وسطاء مختلفة.



الشكل 2-4 مكونات النظام المرجعي للإحداثيات المسقطة

يبحث إسقاط الخريطة (map projection) في تحويل الإحداثيات من الأبعاد الثلاثة على سطح منحني إلى إحداثيات ثنائية الأبعاد على مستو بهدف إنشاء الخرائط عن طريق معادلات رياضية تسمى معادلات إسقاط الخريطة مع تحديد نوع التشوّه الحاصل وتقليله قدر المستطاع.



تسبب جميع طرق الإسقاط بتشوّه (distortion) السطح ثلاثي الأبعاد، بصورة أو أخرى، بطريقة مشابهة لتمزق قشرة البرتقال إذا ما حاولنا بسطها على سطح مستو. وبما أن الغرض من الخريطة يختلف حسب الاستخدام، نستطيع إذاً انتقاء نوع التشوّه الذي يمكن قبوله. لذلك ظهرت أنواع عديدة من الإسقاط بغية الحفاظ على بعض خصائص السطح ثلاثي الأبعاد على حساب الخصائص الأخرى.

الشكل 3-4 تسبب طرق الإسقاط بتشوّه السطح ثلاثي الأبعاد

في نظام المعلومات الجغرافية يمكننا إجراء القياسات والتحليل على الخريطة مباشرة؛ أي باستخدام الإحداثيات المُسَقَّطة، أما في الممارسات المتعلقة بالجيوديسيا فإن العمل يكون باستخدام الإحداثيات الجيوديسية (الإهليلجية) ثم تُسقط نتائج التحليل على خريطة.

يتألف اسم النظام المرجعي للإحداثيات المسقطة من جزأين: اسم النظام المرجعي الجغرافي أولاً ثم اسم طريقة الإسقاط وذلك لإزالة أي التباس، لأن طريقة الإسقاط الواحدة يمكن استخدامها نظرياً مع أي نظام مرجعي للإحداثيات الجغرافية، كما إن النظام الجغرافي الواحد يمكن إسقاطه بجميع طرق الإسقاط. ثمة أكثر من 250 نظام مرجعي للإحداثيات المسقطة - مثلاً - تعتمد جميعها على الإحداثيات الجغرافية المنسوبة إلى WGS 84 ولكنها تستخدم طرق إسقاط مختلفة، أو أنها مصممة لتناسب مناطق مختلفة من العالم.

الجدول التالي يبين الأنظمة المرجعية للإحداثيات المسقطة المبنية على المرجع الجيوديسي Ain el Abd. من هذه الأنظمة ما يستخدم إسقاط لامبرت المخروطي المطابق (Lambert Conic Conformal) أو إسقاط ميركاتور المستعرض العالمي (Universal Transverse Mercator: UTM)، الخ:

SRID	النظام المرجعي للإحداثيات المسقطة	SRID	النظام المرجعي للإحداثيات المسقطة
20437	Ain el Abd / UTM zone 37N	2318	Ain el Abd / Aramco Lambert
20438	Ain el Abd / UTM zone 38N	20499	Ain el Abd / Bahrain Grid
20439	Ain el Abd / UTM zone 39N	20436	Ain el Abd / UTM zone 36N
20440	Ain el Abd / UTM zone 40N		

الجدول 1-4 الأنظمة المرجعية للإحداثيات المسقطة المبنية على المرجع الجيوديسي Ain el Abd

في المقابل يستخدم إسقاط ميركاتور المستعرض العالمي لإسقاط البيانات المكانية المنسوبة لأي مرجع جيوديسي، ولذلك يمكن أن نصادف الأنظمة المسقطة التالية للمنطقة 39 شمالاً من إسقاط ميركاتور المستعرض العالمي:

SRID	النظام المرجعي للإحداثيات المسقطة	SRID	النظام المرجعي للإحداثيات المسقطة
31839	NGN / UTM zone 39N	20539	Afgoooye / UTM zone 39N
3439	PSD93 / UTM zone 39N	20439	Ain el Abd / UTM zone 39N
30339	TC(1948) / UTM zone 39N	2059	ED50(ED77) / UTM zone 39N
32239	WGS 72 / UTM zone 39N	23239	Fahud / UTM zone 39N
32439	WGS 72BE / UTM zone 39N	3892	IGRS / UTM zone 39N
32639	WGS 84 / UTM zone 39N	3393	Karbala 1979 / UTM zone 39N
2090	Yemen NGN96 / UTM zone 39N	27039	Nahrwan 1967 / UTM zone 39N

الجدول 2-4 الأنظمة المرجعية للإحداثيات المسقطة التي تستخدم UTM

ثمة أسلوبان أساسيان للإسقاط:

- الإسقاط المنظوري أو الإسقاط الهندسي (perspective projection or geometric projection): إسقاط الأشعة من مصدر الضوء على السطح المرجعي لتوليد ظلال المعالم على سطح مستو. يمكن شرح مبدأ الإسقاط المنظوري أيضاً بمعاينة منظورية للسطح المرجعي من نقطة بدلاً من فكرة إسقاط الأشعة.
- الإسقاط غير المنظوري أو الإسقاط التحليلي (non-perspective projection or analytical projection): استخدام توابع رياضية لتحويل الإحداثيات من السطح المرجعي إلى مستو.

تسمى الإحداثيات الجديدة للنقاط الإحداثيات المسقطة (projected coordinates)،

وتسمى الشبكة الناتجة من إسقاط خطوط العرض والطول على سطح الإسقاط الشبكة الكارتوغرافية (cartographic grid)، ويختلف شكل خطوطها حسب نوع الإسقاط.

4.2. القياسات على الأرض

يمكن قياس العديد من الخصائص على سطح الأرض ومقارنتها بما يقابلها على الخريطة، ومن بين هذه الخصائص:

- المساحة: هل نسبة المساحات بين المعالم (مثل الدول) على الخريطة هي النسبة ذاتها بين مساحاتها على الأرض؟ لماذا تبدو جزيرة غرينلاند في بعض أنواع الإسقاط مساوية في المساحة قارة أفريقيا، رغم أنها أصغر منها بكثير؟

المساحة **خصيصة** (property) (مفرد خصائص) حيوية في خرائط التوزيع. على سبيل المثال تتطلب الخرائط الموضوعية (thematic maps) استخدام الإسقاط مُساوي المساحة وذلك لعرض النسبة الصحيحة بين المساحات التي تنتشر فيها ظاهرة معينة، مثل الأراضي الزراعية السليمة وتلك المتضررة بأفة زراعية، أو تصنيف الأراضي حسب نوع المحاصيل، لأن الانطباع البصري لتوزيع الظاهرة على الخريطة يؤثر في فهمها.

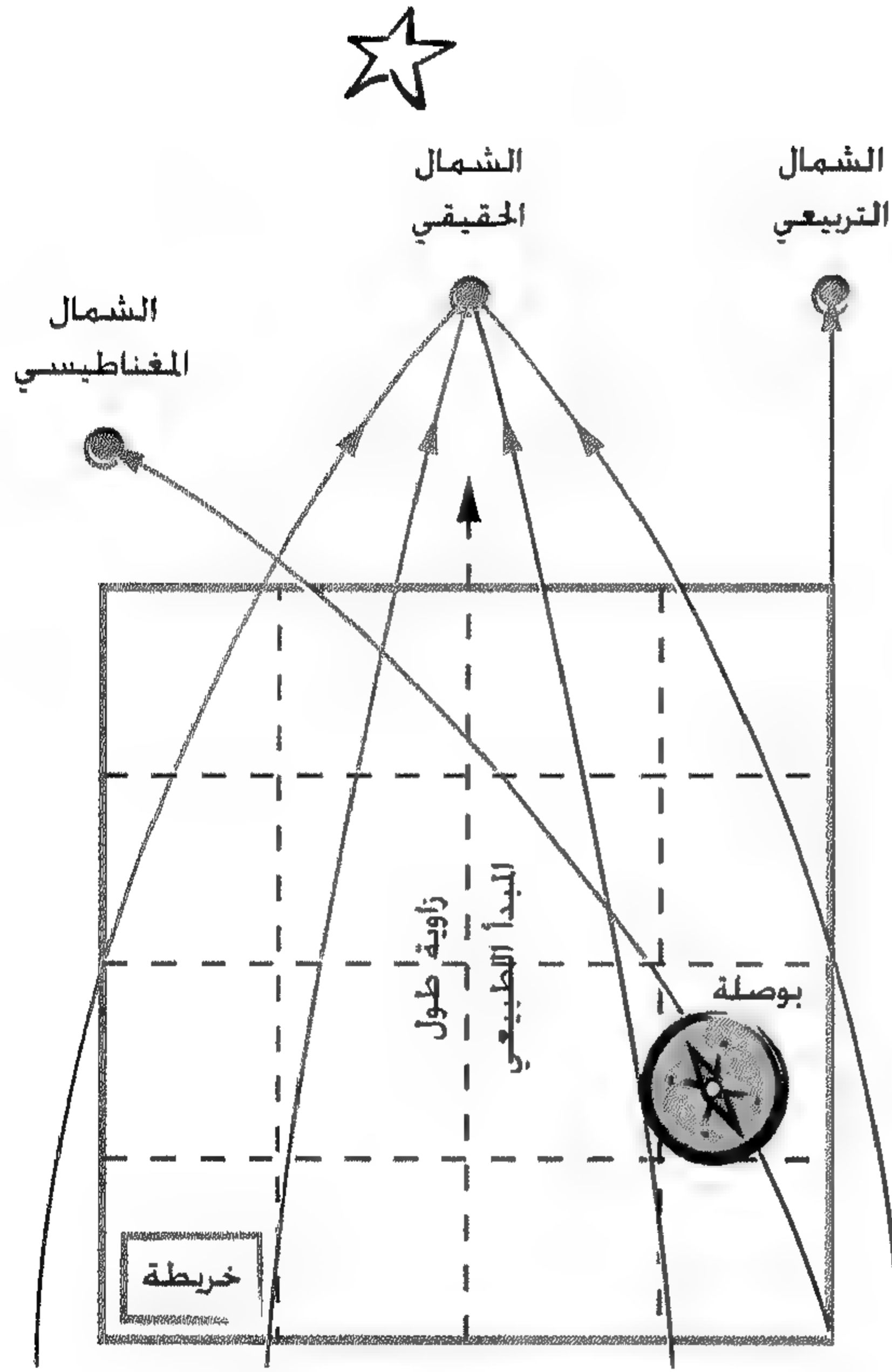
- الشكل والزاوية: هل تطابق أشكال المعالم على الخريطة أشكالها على الأرض؟ هل الزاوية التي يصنعها خطان على الخريطة متطابقة مع الزاوية التي يصنعها هذان الخطان على الأرض؟
- المسافة: هل يمكن قياس المسافة بدقة بين أي نقطتين على الخريطة؟ هل يحافظ الإسقاط على مقياس الخريطة ثابتاً بين أي نقطتين؟

4.3. اتجاه الشمال

يأخذ بعض المستخدمين قياسات الاتجاه على أنها مسلمات، ويمكن أن يؤدي ذلك إلى أخطاء فادحة عند العمل مع البيانات والتقنيات المكانية. مثال على ذلك اتجاه الشمال الذي تشير إليه البوصلة أو اتجاه الشمال الظاهر على خريطة تعتمد نظاماً مرجعياً للإحداثيات المُسقّطة.

يُعرف الشمال الحقيقي (true north) أو الشمال الجيوديسي (geodetic north) في أي نقطة بأنه الاتجاه إلى نقطة القطب الشمالي منها، وهو ينطبق مع خط الطول المار بتلك النقطة، مع العلم أن مركز القطب الشمالي يتغير باستمرار وإن ببطء شديد نظراً لتغير محور دوران الأرض

(انظر 3.3.4 النظام/الإطار المرجعي الأرضي الدولي).



الشكل 4-4 الفرق بين الشمال الحقيقي، المغناطيسي، والتريبيعي

أما الشمال المغناطيسي (magnetic north) فهو الاتجاه الذي تشير إليه الإبرة الممغنطة في البوصلة إذا وضعت في صورة أفقية وعُزلت عن التأثيرات الخارجية مثل الحقول الكهربائية والمعادن. تسمى النقطة التي تشير إليها البوصلة نقطة الشمال المغناطيسي، وهي نقطة تقع على مسافة تبعد مئات الكيلومترات من نقطة قطب الشمال الحقيقي. تسمى الزاوية بين الشمالين الحقيقي والمغناطيسي **زاوية الانحراف المغناطيسي** (magnetic variation or magnetic declination) وهي قيمة متغيرة بتغير موقع القياس على الأرض، كما تتغير بمرور الوقت نظراً لتغير كتلة الأرض، ولذلك يجب عند تسجيل الاتجاه المغناطيسي تحديد موقع القياس وتاريخه.

الشمال التريبيعي (grid north) هو الاتجاه الذي تشير إليه خطوط الطول على الشبكة الكارتوغرافية (شبكة الإحداثيات) على الخريطة، وينطبق مع الشمال الحقيقي على طول خط واحد منها هو الخط الذي يمثل زاوية الطول للمبدأ الطبيعي، بينما ينحرف الشمال التريبيعي عن الشمال الحقيقي كلما اتجهنا بعيداً عن ذلك الخط شرقاً أو غرباً، كما تزداد قيمة الانحراف على طول الخطوط الأخرى عن اتجاه الشمال الحقيقي كلما ابتعدنا عن خط الاستواء شمالاً أو جنوباً.



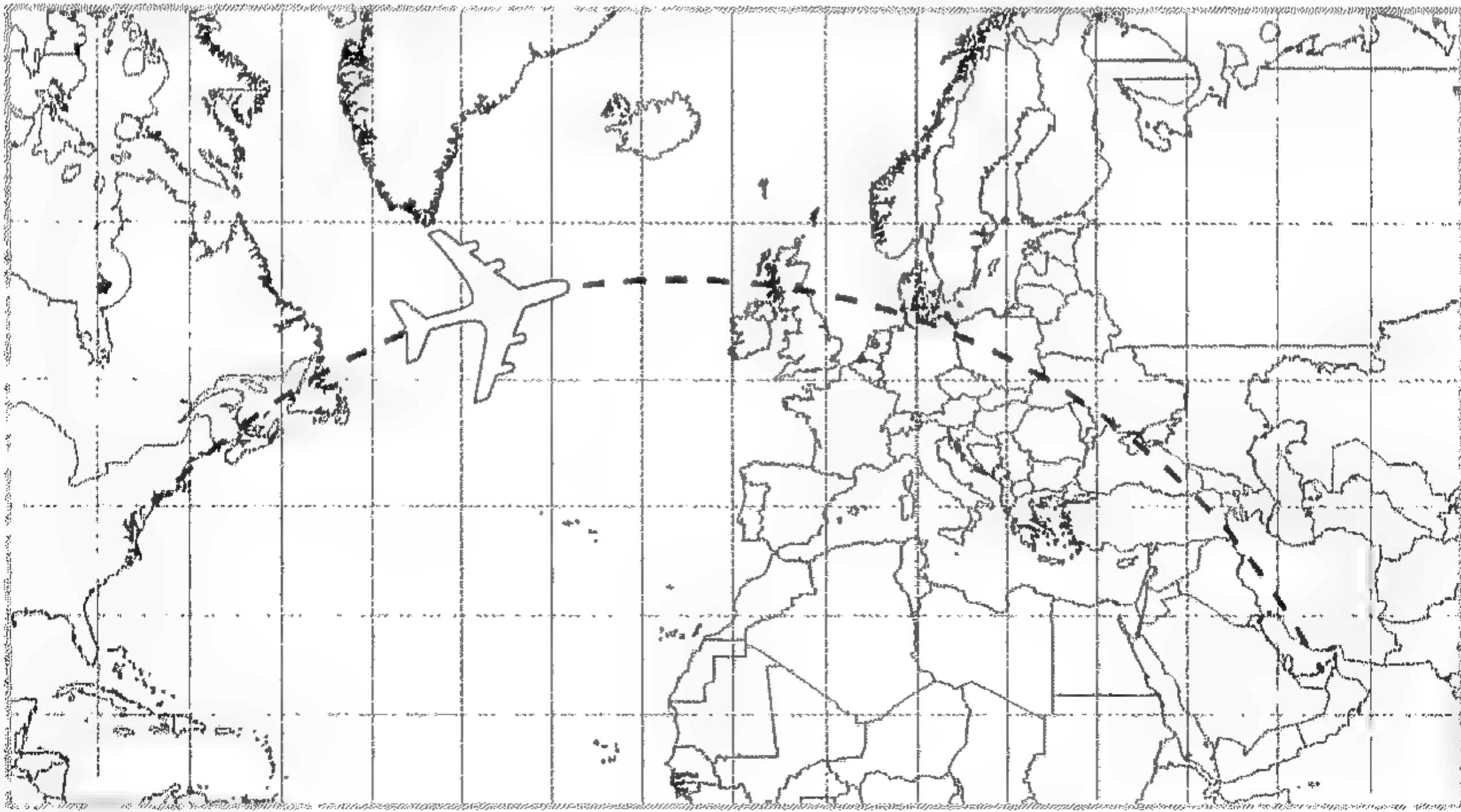
تتوفر مجموعة من الأدوات الفورية لحساب الانحراف المغناطيسي لأي موقع وفي تاريخ محدد، منها الأداة المتوفرة على موقع الإدارة الوطنية للمحيطات والغلاف الجوي (National Oceanic and Atmospheric Administration: NOAA):
<http://www.ngdc.noaa.gov/geomag-web/#declination>

4.4. السمت والاتجاه والمسار الأقصر

من الخصائص الأخرى التي يمكن قياسها على سطح الأرض الاتجاه والسمت والمسار الأقصر، وهذه الخصائص أهمية كبرى في تخطيط المسارات البحرية والجوية.

المسار الأقصر بين أي نقطتين على سطح الأرض (orthodrome) هو قوس جيوديسي يصل بينهما على السطح المرجعي (الكرة أو المجسم الإهليلجي)، وهو قطعة من الدائرة العظمى (great circle) المارة في النقطتين. أما تعريف الدائرة العظمى فهي دائرة لها محيط الكرة الناتجة من تقاطع مستو يقسم الكرة إلى جزأين متساويين مار بمركز الكرة وبهاتين النقطتين.

ومن هنا نعلم أن إيجاد المسار الأقصر لرحلة جوية بين مدينتين، مثلاً، ليس مجرد رسم خط مستقيم بينهما على أي خريطة تقع بين أيدينا.



الشكل 4-5 المسار الأقصر بين نيويورك ودبي

يمكن حساب طول القوس الجيوديسي بين النقطة (φ_1, λ_1) والنقطة (φ_2, λ_2) بحساب الزاوية

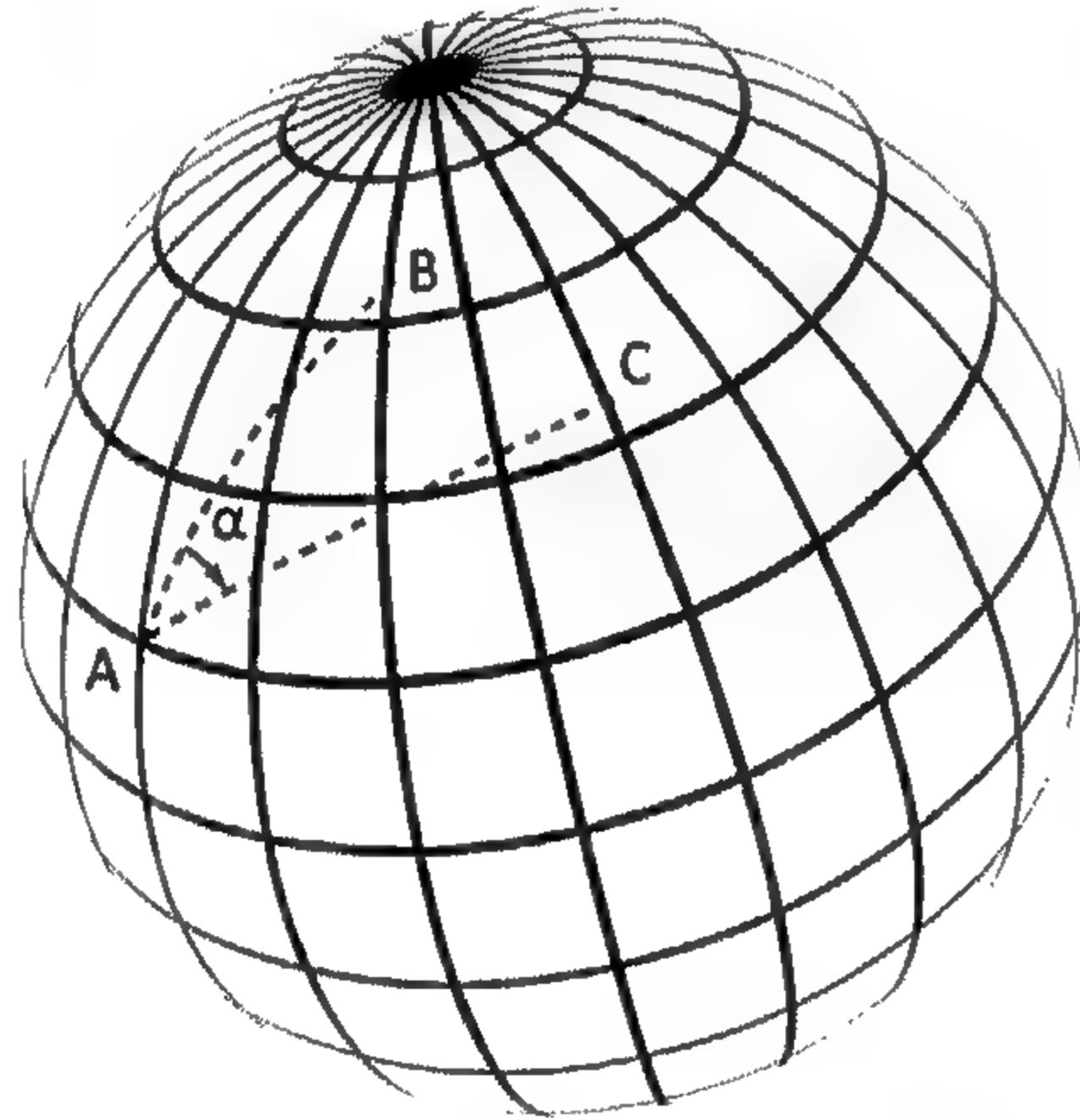
المركزية $\Delta\hat{\sigma}$ بين النقطتين من قانون التجيب في المثلثات الكروية (spherical law of cosines) كما يلي:

$$\cos \Delta\hat{\sigma} = \sin \varphi_1 \sin \varphi_2 + \cos \varphi_1 \cos \varphi_2 \cos \Delta\lambda$$

إذا كان r نصف قطر الكرة (6372.8 كلم)، يكون طول القوس d :

$$d = r \Delta\hat{\sigma}$$

من ثلاث نقاط A و B و C على السطح المرجعي (الكرة أو المجسم الإهليلجي)، حيث A نقطة مرجعية، يعرف السمت (azimuth) من B إلى C بالزاوية التي تصنعها خطوط المسار الأقصر AB و AC والتي هي أقواس جيوديسية على السطح المرجعي. بعبارة أخرى، السمت هو الزاوية التي يدور بها شخص يراقب النقطة B من A حتى يشاهد النقطة C .



الشكل 4-6 السمت

أما الاتجاه (bearing) فهو الزاوية التي يصنعها خط المسافة الأقصر BC مع خط الطول المار في النقطة B ، وبذلك يتشابه الاتجاه مع السمت لكن الخط AB هو خط طول دائماً.

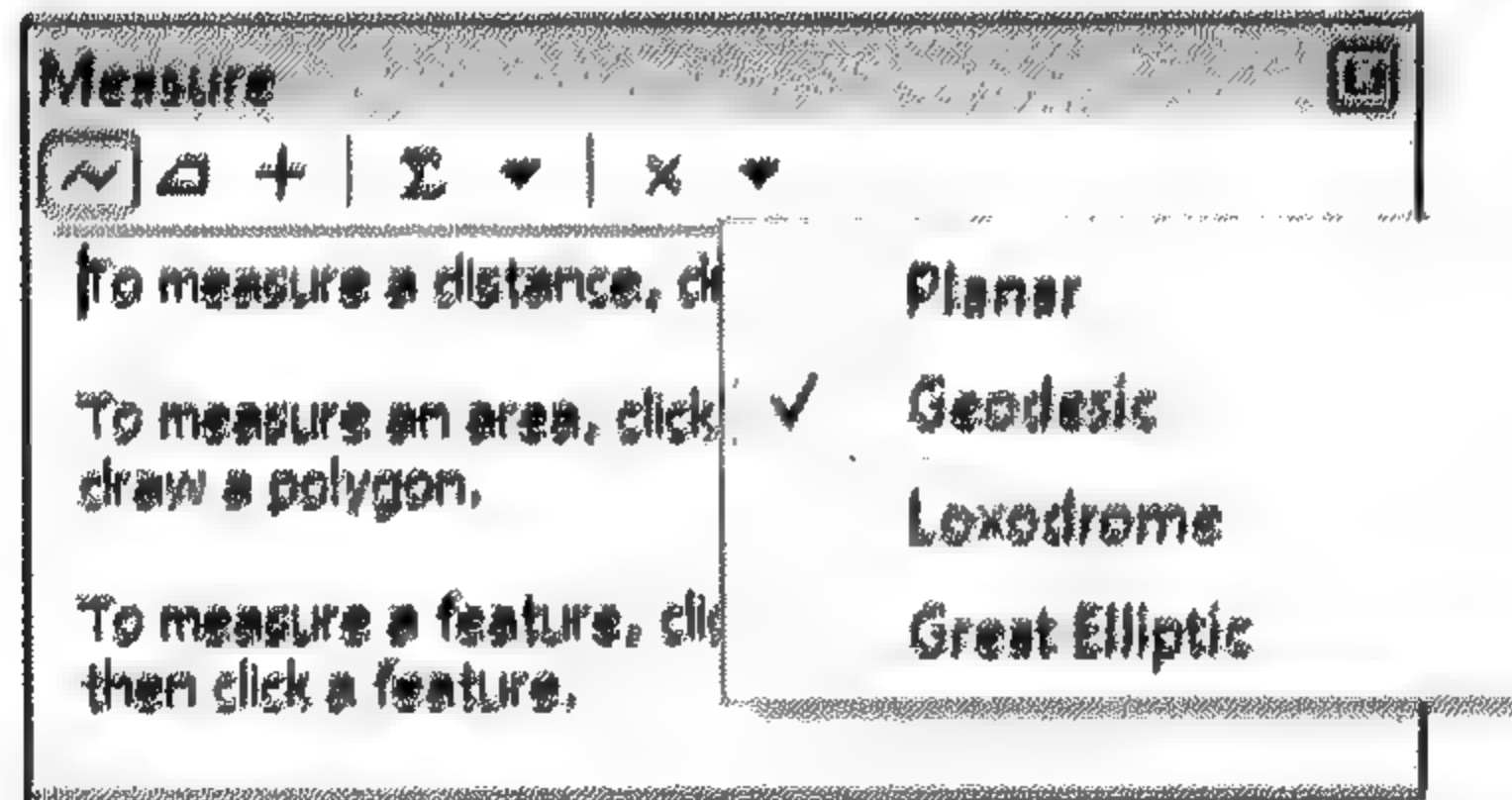
ومن تعريف الاتجاه، يمكن تعريف خط الاتجاه الثابت (loxodrome or rhumb line) بخط يقطع جميع خطوط الطول بالاتجاه ذاته.



الشكل 7-4 خط الاتجاه الثابت



يمكن في ArcGIS قياس المسافات بين نقطتين حسب نظام الإحداثيات المرجعي الحالي باستخدام الزر Measure في شريط الأدوات Tools. ويمكن تحديد طريقة قياس المسافة ووحدة القياس من صندوق حوار Measure كما يلي:



الشكل 8-4 صندوق حوار Measure في ArcGIS

- مستوي (planar): قياس المسافة بين نقطتين على نظام مرجعي للإحداثيات المُسقطة باستخدام علاقات رياضية ديكارتية ثنائية الأبعاد.
- جيوديسي (geodesic): قياس المسافة الأقصر بين نقطتين على طول الدائرة العظمى المارة في هاتين النقطتين.
- خط الاتجاه الثابت (loxodrome): قياس المسافة بين النقطتين على طول خط الاتجاه الثابت.

AutoCAD® Map 3D



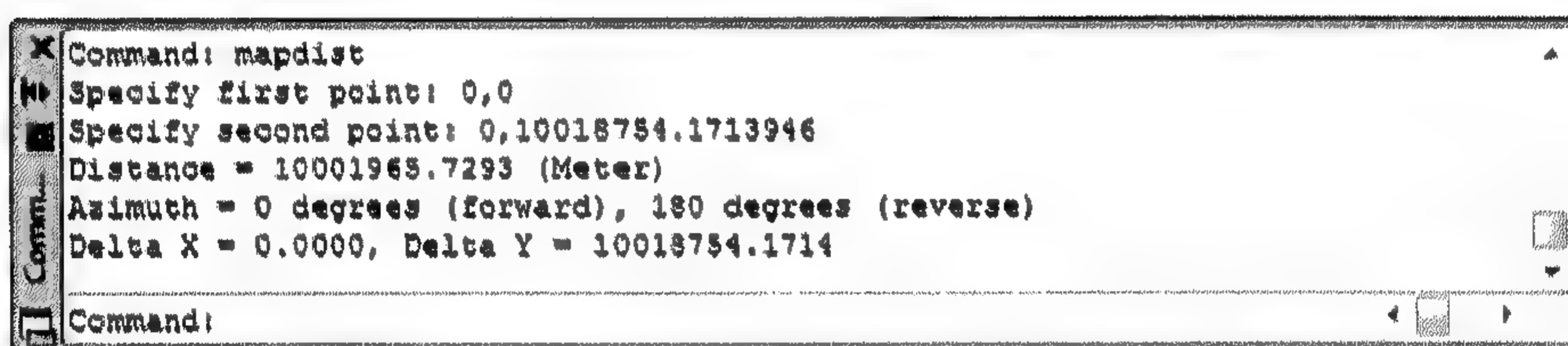
يمكن قياس المسافات بين نقطتين في AutoCAD Map 3D باستخدام الأمر DIST ولكن نتيجة القياس تكون باستخدام علاقات رياضية ديكارتية ثنائية الأبعاد حسب نظام الإحداثيات المرجعي الحالي.

في المقابل يتوفر الأمر Geo Distance لقياس المسافات بين نقطتين على طول الدائرة العظمى المارة بينهما:

Ribbon: Analyze > Geo Tools > Geo Distance

Command: MAPDIST

يعرض AutoCAD Map 3D النتيجة في نافذة الأوامر، والمثال التالي يبين المسافة والاتجاه بين خط الاستواء والقطب الشمالي على طول خط الزوال الرئيسي:

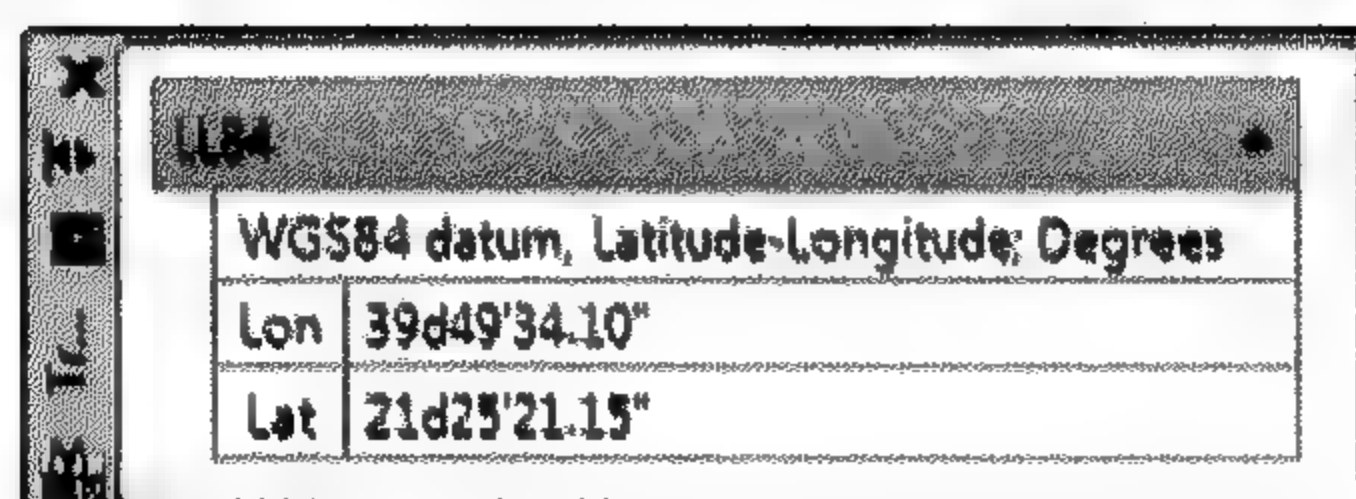


الشكل 9-4 قياس المسافات الجيوديسية في AutoCAD Map 3D

علماً بأنه يمكن إدخال الإحداثيات الجغرافية بأية صيغة وبلاستناد إلى أي نظام إحداثيات مرجعي باستخدام أداة تعقب الإحداثيات (Coordinate Track) التي يمكن الوصول إليها من:

Ribbon: Analyze > Geo Tools > Coordinate Track

يبين الشكل التالي إدخال الإحداثيات الجغرافية في صيغة الدرجة الدقيقة الثانية في نظام الإحداثيات المرجعي WGS 84 في أداة تعقب الإحداثيات:



الشكل 10-4 أداة تعقب الإحداثيات في AutoCAD Map 3D



يمكن في Oracle Spatial استخدام الوظيفة SDO_GEOM.SDO_DISTANCE لحساب المسافة بين نقطتين. يعيد Oracle Spatial المسافة على طول الدائرة العظمى المارة في النقطتين. المثال التالي يوضح كيفية استخدام SDO_GEOM.SDO_DISTANCE لحساب المسافة بين خط الاستواء والقطب الشمالي على طول خط الزوال الرئيسي بالكيلومتر وبتفاوت (tolerance) 0.05 على المجسم الإهليلجي WGS 84:

```
SQL> SELECT SDO_GEOM.SDO_DISTANCE(
2  SDO_GEOMETRY( 2001, 4326, SDO_POINT_TYPE(0,0, NULL), NULL, NULL),
3  SDO_GEOMETRY( 2001, 4326, SDO_POINT_TYPE(0,90, NULL), NULL, NULL),
4  0.05,
5  'unit=KM')
6 FROM dual;
```

```
SDO_GEOM.SDO_DISTANCE(SDO_GEOMETRY(2001, 4326, SDO_POINT_TYPE (0, 0, NULL),
NULL, NULL)
```

```
10001.9657
```

4.5. تحديد اتجاه القبلة

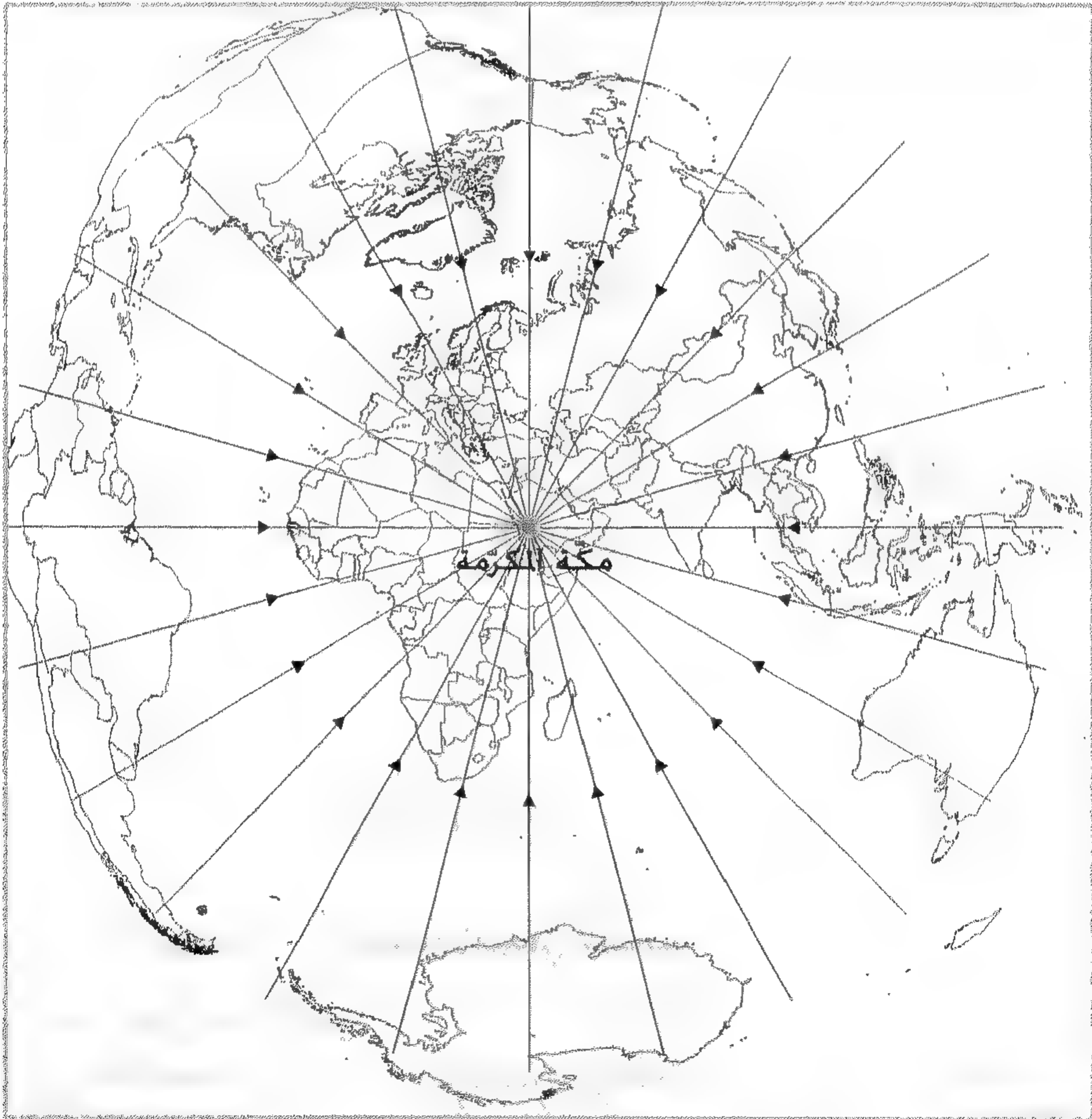
ثمة خلاف بين مسلمي أمريكا الشمالية على تحديد اتجاه القبلة، ولهذا الخلاف صلة بالطريقة التي يستخدمها كل فريق في تعريف الاتجاه. يصلي الفريق الأول باتجاه الجنوب الشرقي، ويصلي الفريق الثاني باتجاه الشمال الشرقي.

يمكن تفسير منشأ هذا الخلاف بأن الفريق الأول يعتمد على خط الاتجاه الثابت (انظر 4.4 السمت والاتجاه والمسار الأقصر) الذي يظهر كخط مستقيم على خريطة تعتمد إسقاط ميركاتور، لكنه في الحقيقة قطعة من حلزون كروي، مع العلم أن هذا الإسقاط لا يحافظ على الاتجاه ويتسبب بتشوه كبير في نقطة القطب التي تظهر مساوية من حيث الطول لخط الاستواء ولا تسمح بفهم اتجاه القبلة خصوصاً في أمريكا الشمالية.

يعتمد الفريق الثاني على الاتجاه الذي تصنعه المسافة الأقصر التي تصل بين موقع الصلاة والكعبة المشرفة، وكما كما مر معنا في بحث السمت والاتجاه والمسار الأقصر فإن المسافة الأقصر بين

نقطتين على سطح الأرض هي قطعة من الدائرة العظمى المارة في تلك النقطتين.

إن خط الاتجاه الثابت الذي يمكن الحصول عليه برسم خط مستقيم يصل بين نقطتين على خريطة تعتمد إسقاط ميركاتور لا يعني أنه الاتجاه الصحيح بينهما، فقد كان الهدف الأصلي من هذا الإسقاط إرشاد السفن في أعالي البحار المظلمة، حيث تحافظ السفينة على انحراف ثابت عن الشمال كلما تقدمت مع الحاجة إلى إعادة توجيه السفينة عدة مرات بحيث تحافظ على ذات الانحراف عن الشمال في كل مرة إلى أن تصل إلى وجهتها، وخط الاتجاه الثابت ليس المسار الأقصر بين نقطتين، بل يمكن أن تصل الزيادة في طوله مقارنة بالمسار الأقصر إلى 30%.



الشكل 4-11 اتجاه القبلة الصحيح من مناطق مختلفة

الخلاصة: إذا قذف لاعب كرة قدم ذو قدرات خارقة الكرة من نقطة ما في أمريكا الشمالية وأرادها أن تسقط في مكة المكرمة فعليه أن يقذفها على طول الدائرة العظمى المارة بين تلك النقطة ومكة لأنه الاتجاه الوحيد إلى مكة، وأما خط الاتجاه الثابت بين تلك النقطة ومكة فيؤدي إلى وقوع الكرة في مكان آخر، مثل المحيط الأطلسي.

يمكن البرهنة على أن الاتجاه الذي يذهب إليه الفريق الثاني اتجاه صحيح بإنشاء خريطة تعتمد الإسقاط السمّي (انظر 4.10.1 الإسقاط السمّي) بحيث تكون الكعبة المشرفة في مبدأ الإسقاط، ما يسمح بتحديد اتجاه القبلة ببساطة بوصل الموقع المطلوب من أي منطقة من العالم بالكعبة، لأن الإسقاط السمّي يحافظ على الاتجاه من أي نقطة باتجاه مبدأ الإسقاط.

تدل هذه الخريطة بوضوح على أن اتجاه القبلة في أمريكا الشمالية باتجاه الشمال الشرقي وليس باتجاه الجنوب الشرقي، بل يكون اتجاهها إلى الشمال تماماً في المنطقة الحدودية بين كندا وولاية ألاسكا.

يمكن أيضاً البرهنة على أن اتجاه القبلة الذي يذهب إليه الفريق الثاني اتجاه صحيح عن طريق معادلات الاتجاه العامة التي تقوم بحساب الاتجاه الابتدائي (initial bearing) الذي يسمى أيضاً السمّت الأمامي (forward azimuth) من نقطة في أمريكا الشمالية إحداثياتها (φ_1, λ_1) إلى الكعبة المشرفة (φ_2, λ_2) باستخدام صيغ مختلفة من قوانين المثلثات الكروية.

من هذه المعادلات العلاقة العكسية في معادلات Vincenty لحساب المسافة والاتجاه بين نقطتين على سطح المجسم الإهليلجي إلى مسافة تصل حتى 20,000 كلم بدقة المليمتر.

في معادلات Vincenty يتم أولاً حساب زاوية العرض المختصرة (انظر 3.3.2 النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية):

$$U_1 = \arctan((1 - f) \tan \varphi_1)$$

$$U_2 = \arctan((1 - f) \tan \varphi_2)$$

حيث f ثابت التفلطح بالنسبة إلى المجسم الإهليلجي المستخدم.

وباعتماد قيمة تقريبية أولية لـ λ هي:

$$\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$$

نقوم بإجراء الحسابات التالية وصولاً إلى قيمة تقريبية جديدة لـ λ :

$$\sin \sigma = \sqrt{(\cos U_2 \sin \lambda)^2 + (\cos U_1 \sin U_2 - \sin U_1 \cos U_2 \cos \lambda)^2}$$

$$\cos \sigma = \sin U_1 \sin U_2 - \cos U_1 \cos U_2 \cos \lambda$$

$$\sigma = \arctan\left(\frac{\sin \sigma}{\cos \sigma}\right)$$

$$\sin \alpha = \frac{\cos U_1 \cos U_2 \sin \lambda}{\sin \sigma}$$

$$\cos^2 \alpha = 1 - \sin^2 \alpha$$

$$\cos(2\sigma_m) = \cos \sigma - \frac{2 \sin U_1 \sin U_2}{\cos^2 \alpha}$$

$$C = \frac{f}{16} \cos^2 \alpha (4 + f(4 - 3 \cos^2 \alpha))$$

$$\lambda = L + (1 - C)f \sin \alpha (\sigma$$

$$+ C \sin \sigma (\cos(2\sigma_m) + C \cos \sigma (-1 + 2 \cos^2(2\sigma_m))))$$

تسمح القيمة التقريبية الجديدة لـ λ بحساب قيمة تقريبية جديدة أخرى بإعادة تنفيذ المعادلات أعلاه، وهكذا إلى أن يصبح الفرق بين قيمتين متتاليتين لـ λ مهماً أو يصل الفرق بينهما إلى درجة الدقة المطلوبة. نقوم بعد ذلك بحساب الاتجاه الأولي أي من النقطة الأولى إلى النقطة الثانية:

$$\alpha_1 = \arctan\left(\frac{\cos U_2 \sin \lambda}{\cos U_1 \sin U_2 - \sin U_1 \cos U_2 \cos \lambda}\right)$$

حيث α_1 الاتجاه الابتدائي أي من النقطة إلى الكعبة، تمييزاً عن α_2 أي الاتجاه الخلفي (back bearing) أو السميت الخلفي (backward azimuth) من الكعبة إلى النقطة.



اهتم العلماء العرب والمسلمون بحساب المثلثات الكروية نظراً لمعرفةهم بكروية الأرض وحاجتهم إلى تحديد القبلة وغيرها من قياس الاتجاهات والمسافات بين الأماكن على سطحها المنحني، فكان ذلك سبباً من أسباب تطويرهم حساب المثلثات الكروية. ومن العلماء العرب الذين اهتموا بالمثلثات الكروية البتاني (Albategnius) (858 – 929 م) الذي استنبط القانون الأساسي لاستخراج مساحة المثلثات الكروية، وأبو الوفاء البوزجاني (940 – 998 م) وهو أول من أثبت القانون العام للجيوب في المثلثات الكروية، والحسن بن الهيثم (Alhazen or Alhacen) (965 – 1040 م) الذي استخدم نظرية ظل التمام للمثلثات الكروية، ونصير الدين الطوسي (1201 – 1274 م) وهو أول من قدم المتطابقات المثلثية للمثلث الكروي قائم الزاوية، وغيرهم.

من العلماء الذين ألفوا جداول لحساب القبلة باستخدام حساب المثلثات الكروية شمس الدين الخليلي (1365 م) وهو فلكي من دمشق، ويتضمن جدول اتجاه القبلة لكل خطوط الطول والعرض. وقد أعاد نشر جدول Denis Roegel في العام 2008 وأكمل حسابات القبلة لبقية المناطق من العالم. (Roegel, 2008)

مشروع:

يراد حساب اتجاه القبلة من نقطة في جبل القديس إلياس (Mount Saint Elias) على الحدود بين كندا وولاية ألاسكا على المجسم الإهليلجي WGS 84، علماً بأن إحداثيات النقطة:

$$\begin{aligned}\varphi_1 &= 60^\circ 17' 37.15'' N \\ \lambda_1 &= 140^\circ 55' 43.81'' W\end{aligned}$$

علماً بأن إحداثيات الكعبة المشرفة:

$$\begin{aligned}\varphi_2 &= 21^\circ 25' 21.15'' N \\ \lambda_2 &= 39^\circ 49' 34.10'' E\end{aligned}$$

الحل:

ثابت التفلطح بالنسبة للمجسم الإهليلجي WGS 84:

$$f = 0.003353$$

نقوم بحساب زاويتي العرض المختصرتين:

$$U_1 = 1.050876$$

$$U_2 = 0.372753$$

من المعادلات السابقة نقوم بإيجاد القيمة التقريبية النهائية لـ λ :

$$\lambda = 3.15479892649847$$

وبتطبيق المعادلة:

$$\alpha_1 = \arctan\left(\frac{-0.012299016}{0.989119989}\right) = -0.712396281720511 \text{ deg}$$

أي:

$$\alpha_1 = 359.28760371828^\circ = 359^\circ 17' 15.37''$$

ما يعني أن القبلة من تلك النقطة تقع إلى الشمال تماماً، حيث قيمة الاتجاه معطاة بالنسبة إلى الشمال الحقيقي (true north) (انظر 4.3 اتجاه الشمال)، كما في الجدول:

الاتجاه	القيمة
الشمال	0 = 360
الشمال الشرقي	45
الشرق	90
الجنوب الشرقي	135
الجنوب	180
الجنوب الغربي	225
الغرب	270
الشمال الغربي	315

الجدول 3-4 قيم الاتجاه (bearing) بالنسبة إلى الشمال الحقيقي



تتوفر مجموعة من الأدوات الفورية لحساب الاتجاه بين نقطتين بالاعتماد على معادلات Vincenty، منها الأداة المتوفرة على موقع Geoscience Australia: http://www.ga.gov.au/geodesy/datums/vincenty_inverse.jsp

من ناحية أخرى، تتوفر أيضاً معادلات تعتمد التقريب الثاني أي الكرة، وهي معادلات أكثر سهولة، منها المعادلة التالية (Williams):

$$\alpha_1 = \arctan \left(\frac{\cos \varphi_2 \sin(\lambda_2 - \lambda_1)}{\cos \varphi_1 \sin \varphi_2 - \sin \varphi_1 \cos \varphi_2 \cos(\lambda_2 - \lambda_1)} \right)$$

مشروع:

يراد حساب اتجاه القبلة من النقطة المذكورة في المثال السابق.

الحل:

من المعادلة السابقة:

$$\alpha_1 = \arctan \left(\frac{-0.013176418}{1.062931999} \right) = -0.710219 \text{ deg}$$

أي:

$$\alpha_1 = 359.2898^\circ = 359^\circ 17' 23.21''$$

في AutoCAD Map 3D يمكن استخدام الأمر MAPDIST الذي تم شرح خطوات استخدامه في الفقرة السابقة (انظر 4.4 السمات والاتجاه والمسار الأقصر) لقياس المسافة بين النقطتين وعرض الاتجاهين الابتدائي والخلفي. المثال التالي يقوم بحساب اتجاه القبلة من النقطة المذكورة في المثال السابق:

Command: MAPDIST

Specify first point: -15688157.11993851, 6711861.38254936

Specify second point: 4433425.40536562, 2384746.44509291

Distance = 10947019.62443843 (Meter)

Azimuth = 359.29084175 degrees (forward), 0.37828874 degrees (reverse)



يمكن في Oracle Spatial استخدام البرنامج الفرعي BEARING_TILT_FOR_POINTS في حزمة SDO_UTIL لحساب الاتجاه بين نقطتين. المثال التالي يوضح كيفية استخدام Oracle Spatial لحساب الاتجاه إلى القبلة من النقطة السابقة في WGS 84:

```
SQL> SET SERVEROUT ON;
SQL> DECLARE
  2  bearing NUMBER;
  3  tilt  NUMBER;
  4  BEGIN
  5  SDO_UTIL.BEARING_TILT_FOR_POINTS(
  6    SDO_GEOMETRY(2001, 4326,
  7      SDO_POINT_TYPE(-140.9288, 60.2937, 0), NULL, NULL), -- start_point
  8    SDO_GEOMETRY(2001, 4326,
  9      SDO_POINT_TYPE(39.8261, 21.4225, 0), NULL, NULL), -- end_point
  10   0.05, --tolerance
  11   bearing,
  12   tilt);
  13  DBMS_OUTPUT.PUT_LINE('Bearing = ' || bearing * 180 / 3.141592653589793238
  14    4626433832795);
  14  DBMS_OUTPUT.PUT_LINE('Tilt = ' || tilt * 180 / 3.141592653589793238462643
  15    3832795);
  15  END;
  16 /
Bearing = 359.291171303329724372758392303993093017
Tilt = 0
PL/SQL procedure successfully completed.
```

تبين نتيجة تنفيذ هذا البرنامج أن اتجاه القبلة من نقطة على الحدود بين كندا وولاية ألاسكا على المجسم الإهليلجي WGS 84 يقع إلى الشمال تماماً:

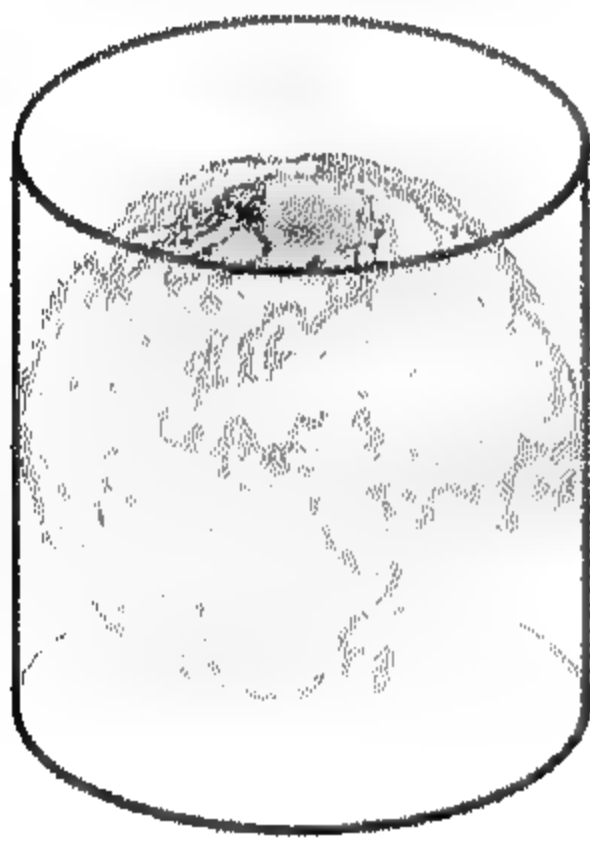
$$\alpha_1 = 359^\circ 17' 28.21''$$

4.6. تصنيف أنواع الإسقاط

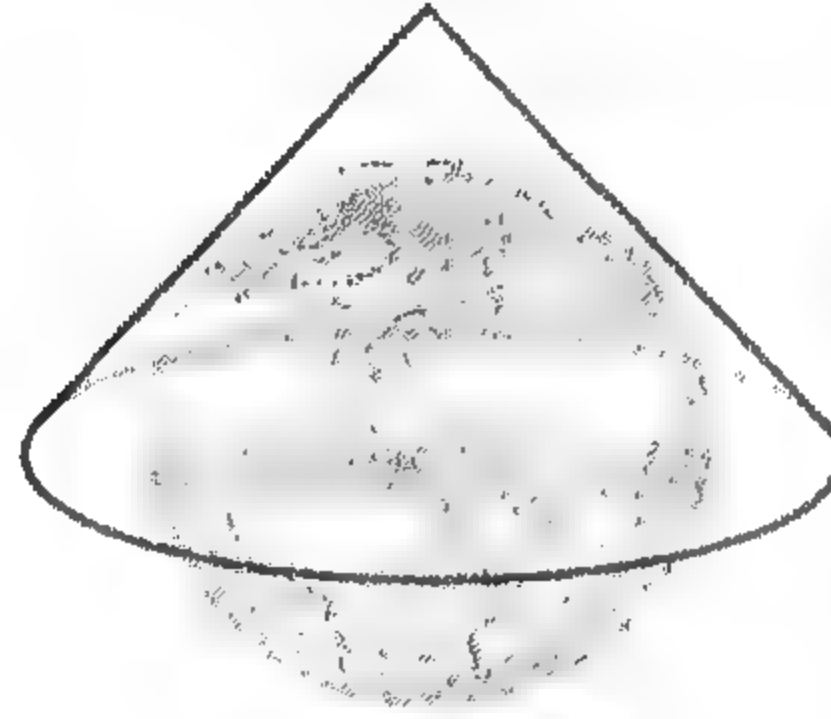
يمكن تصنيف أنواع الإسقاط بعدة طرق، منها حسب سطح الإسقاط. يكون سطح الإسقاط قابلاً للنشر (developable) من دون مطّ أو تمزق أو انكماش وتُعدّ سطوح الإسقاط المستوية والمخروطية والأسطوانية أكثر سطوح الإسقاط شيوعاً، ومنها تصنف أنواع الإسقاط التالية:

- الإسقاط السمّي (azimuthal)
- الإسقاط المخروطي (conical)
- الإسقاط الأسطواني (cylindrical)

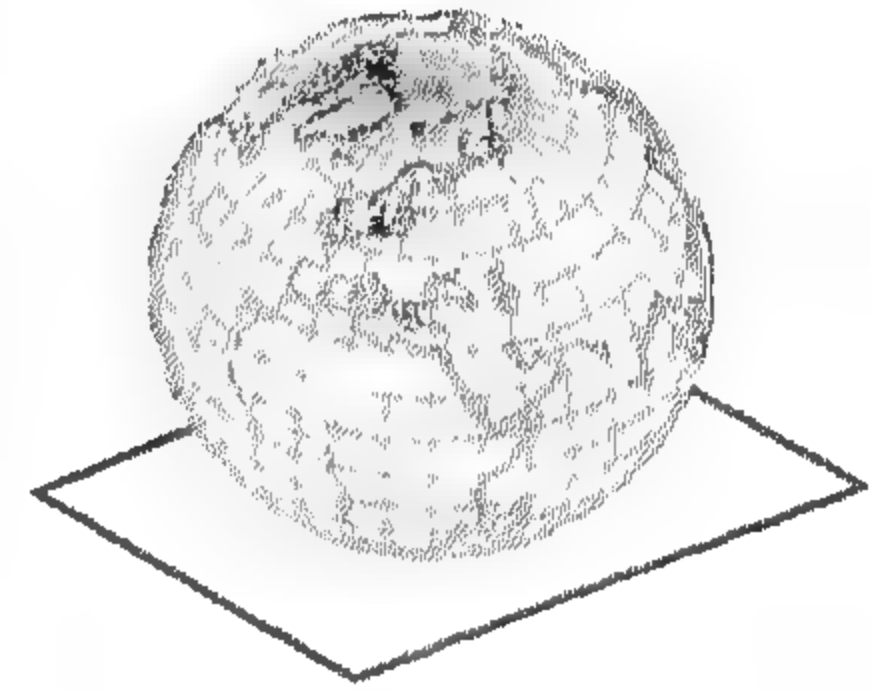
ويضاف إلى هذه الأنواع الرئيسية الإسقاط السمّي الزائف (pseudoazimuthal) والمخروطي الزائف (pseudoconical) والمخروطي المتعدد (polyconic) والأسطواني الزائف (pseudocylindrical).



إسقاط أسطواني



إسقاط مخروطي

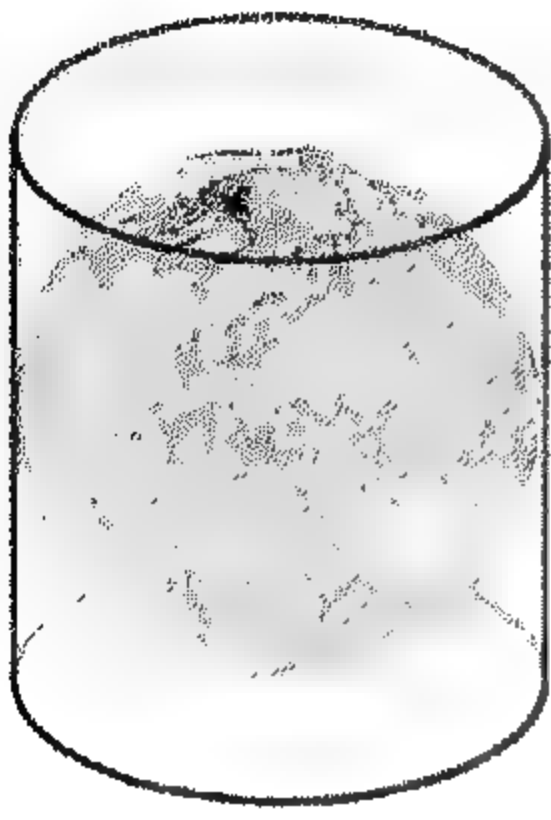


إسقاط سمّي

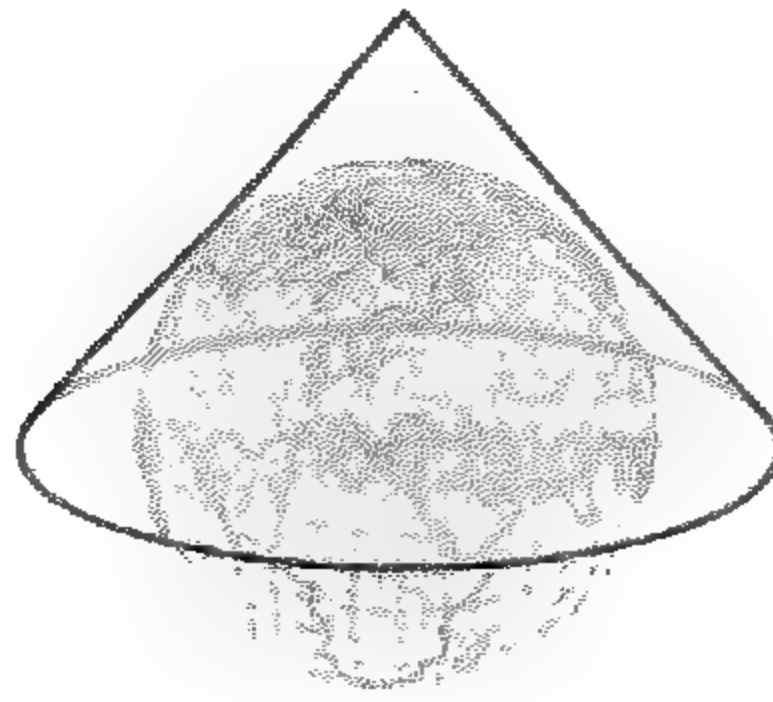
الشكل 4-12 أنواع الإسقاط حسب سطح الإسقاط

ثمة علاقة بين شكل المنطقة الجغرافية وبين سطح الإسقاط، حيث يستخدم الإسقاط السمّي مع المناطق شبه الدائرية والإسقاط المخروطي مع المناطق شبه المثلثة والإسقاط الأسطواني مع المناطق شبه المستطيلة.

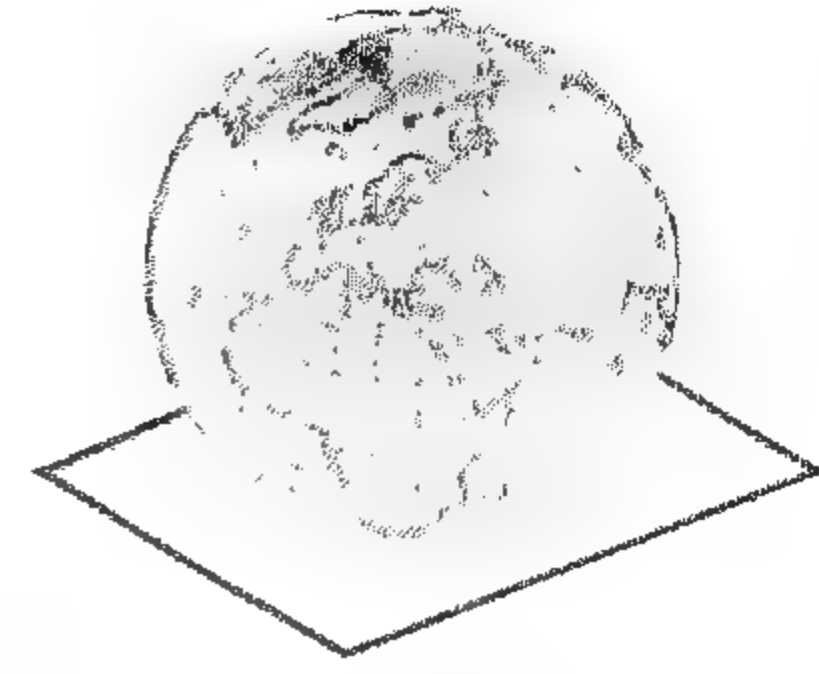
يكون سطح الإسقاط بالنسبة للسطح المرجعي في منظر قائم (normal aspect)، أو منظر مستعرض (transverse aspect) أو منظر مائل (oblique aspect)، كما في الشكل أدناه.



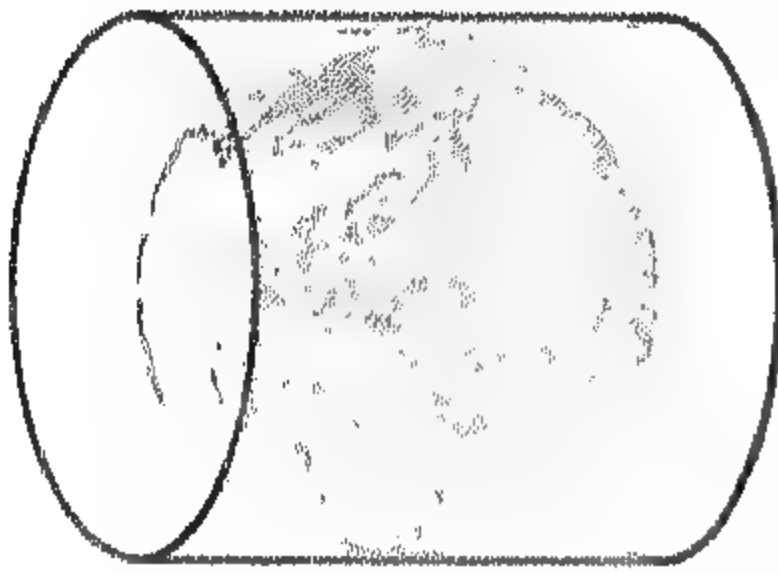
إسقاط أسطواناني
قائم



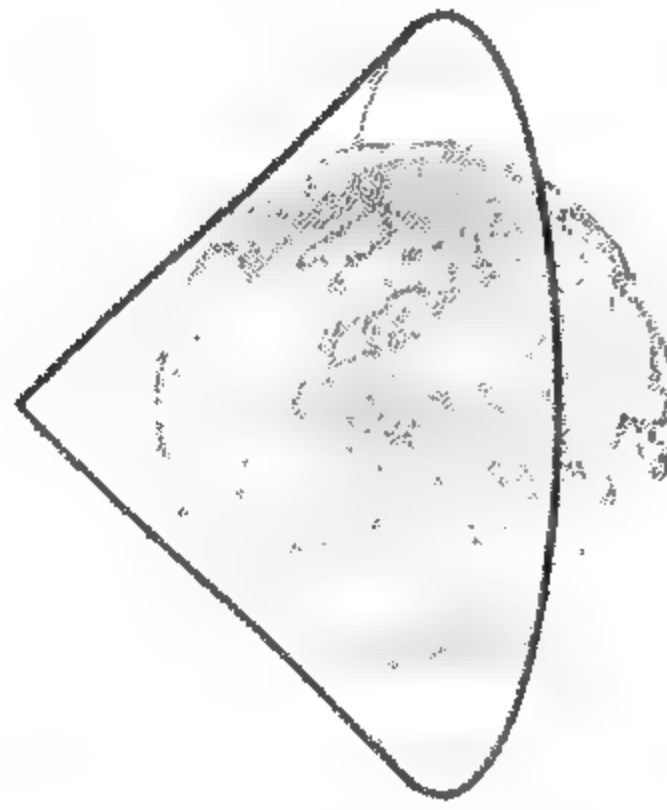
إسقاط مخروطي
قائم



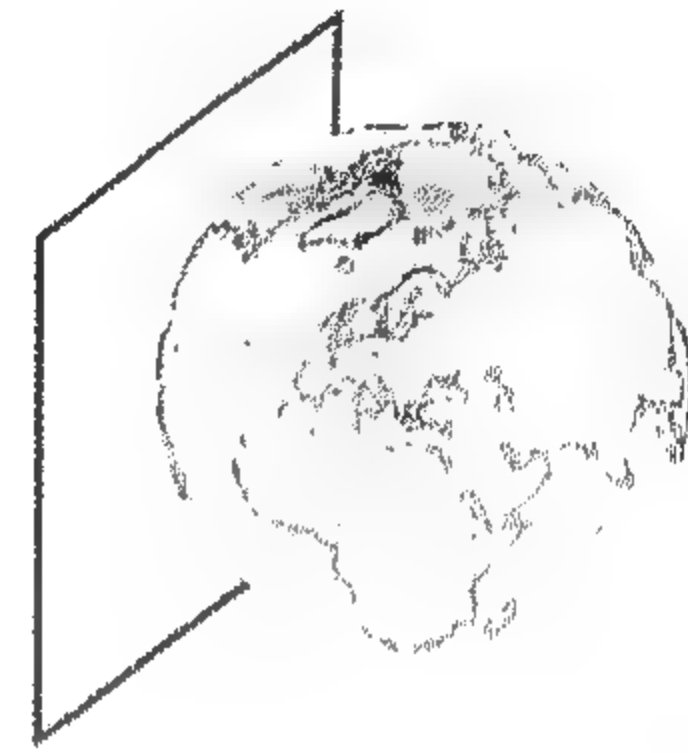
إسقاط سمطي
قائم



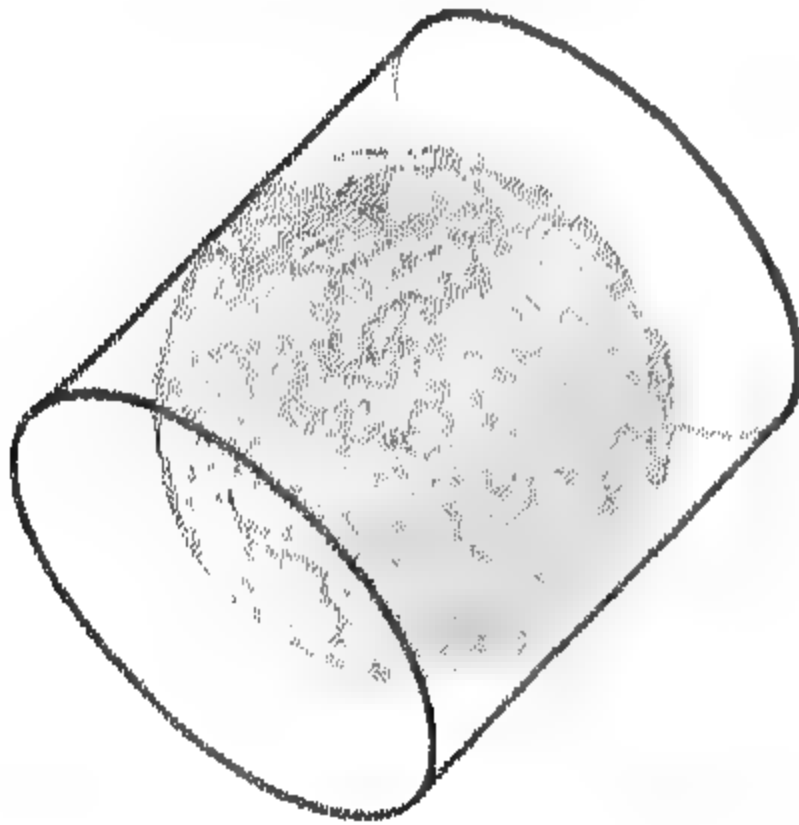
إسقاط أسطواناني
مستعرض



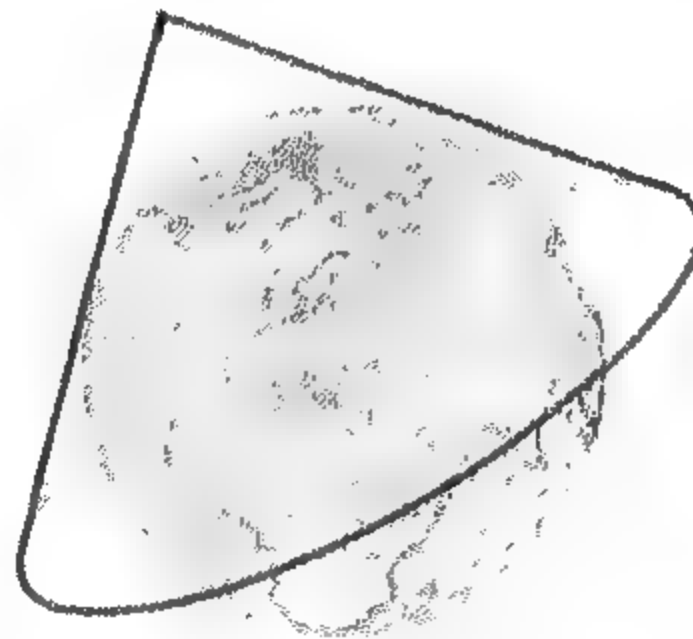
إسقاط مخروطي
مستعرض



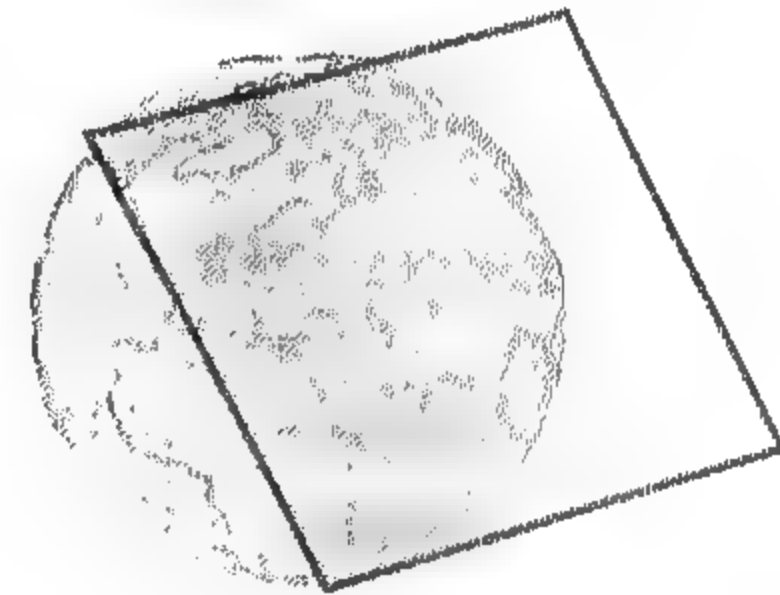
إسقاط سمطي
مستعرض



إسقاط أسطواناني
مائل



إسقاط مخروطي
مائل



إسقاط سمطي
مائل

الشكل 4-13 أوضاع سطح الإسقاط

في الإسقاط السمطي يسمى المنظر القائم أيضاً منظراً قطبياً (polar aspect) نظراً لأن نقطة التماس هي القطب، كما يسمى المنظر المستعرض أيضاً منظراً استوائياً (equatorial aspect) نظراً لأن نقطة التماس تقع على خط الاستواء.

من ناحية أخرى يكون سطح الإسقاط إما مماساً (tangent) للسطح المرجعي أو قاطعاً (secant) له.

ما من إسقاط يحافظ على جميع الخصائص معاً، ويمكن تصنيف أنواع الإسقاط من ناحية أخرى حسب الخصائص التي يحافظ عليها:

- الإسقاط مُساوي المساحة (equal-area projection, equiareal projection, equivalent projection, or authalic projection): يحافظ هذا الإسقاط على المساحة، بحيث تكون النسبة بين مساحتي أي منطقتين على الخريطة هي ذات النسبة بين مساحتهما في الواقع.

- الإسقاط مُساوي المسافة (equidistant projection): يحافظ هذا الإسقاط على المسافة بحيث تكون النسبة بين المسافة على الخريطة والمسافة في الواقع صحيحة بين أي نقطتين على خطوط معينة في الخريطة تسمى الخطوط القياسية (standard lines)، وليس بين أي نقطتين عشوائيتين على الخريطة.

- الإسقاط المُطابق (conformal projection) أو الإسقاط صحيح الشكل (orthomorphic projection): إسقاط يحافظ على الزوايا كما يحافظ على الأشكال الصغيرة محلياً حول أي نقطة في الخريطة تقريباً. الأبنية مثلاً أشكال صغيرة وبالتالي يحافظ الإسقاط المطابق على زواياها وشكلها فلا تبدو مستطيلة أو منحرفة، ولذلك يستخدم الإسقاط المطابق في الخرائط الطبوغرافية والخرائط ذات المقياس الكبير.

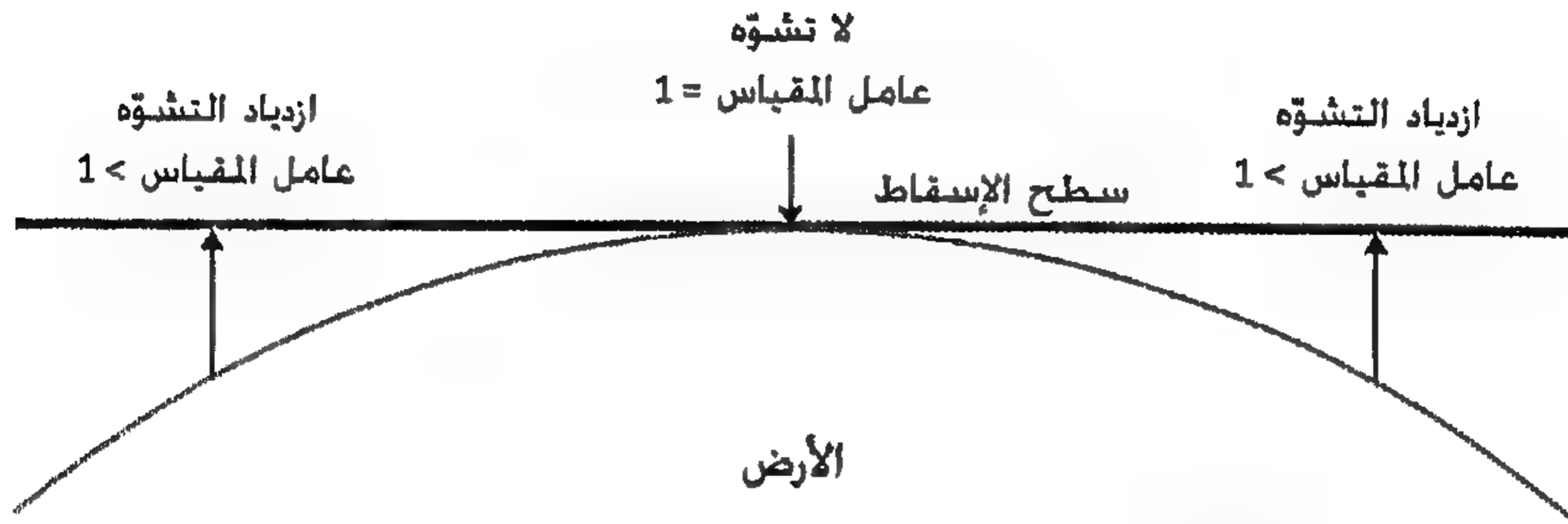
الزاوية التي يصنعها خطان يتقاطعان على الخريطة والزاوية التي يصنعها ذات الخطين على السطح المرجعي زاويتان متطابقتان، ومنه اسم الإسقاط. وعلى وجه الخصوص تتقاطع خطوط العرض والطول بزاوية قائمة، لكن ليس من الضروري أن تكون هذه الخطوط مستقيماً. المطابقة تخصيصة (مفرد خصائص) محلية ولا يمكن المحافظة على الزوايا، وبالتالي الأشكال، في مساحة كبيرة. لأن الإسقاط المطابق لا يمكنه المحافظة على المساحات، لا يستخدم هذا الإسقاط في الخرائط الإحصائية التي تتطلب مقارنة الظواهر حسب توزيعها ومساحتها.

- الإسقاط السمّي (azimuthal): إسقاط يحافظ على الاتجاه. يمكن للإسقاط السمّي أن يحافظ على تخصيصة أخرى بالإضافة إلى الاتجاه، وعندئذ يكون إسقاطاً سمّياً مُساوي المساحة، أو إسقاطاً سمّياً مُساوي المسافة، أو إسقاطاً سمّياً مطابقاً.

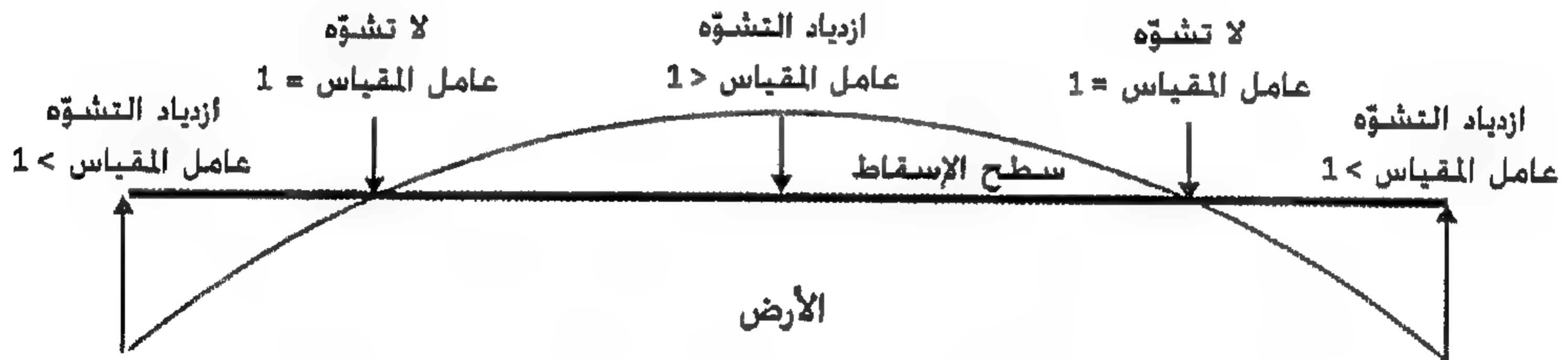
4.7. المحافظة على المقياس

مقياس الخريطة (map scale) هو نسبة المسافة بين نقطتين على الخريطة والمسافة الحقيقية بينهما في الواقع. تحافظ الكرة والمجسم الإهليلجي، وهما مجسمان ثلاثيا الأبعاد، على ثبات المقياس

لأنهما يشبهان شكل الأرض، ولكن المسافات تتعرض إلى تشوّه بمجرد إسقاطها على سطح مستوي مهما كانت المعالم صغيرة، وبالتالي لا يمكن المحافظة على المقياس بصورة ثابتة في جميع أنحاء الخريطة. بدلاً من ذلك توفر أنواع الإسقاط نقطة واحدة أو خطأ قياسياً واحداً أو خطين قياسين بحد أقصى يكون فيها المقياس ثابتاً صحيحاً.



الشكل 14-4 المحافظة على المقياس في الإسقاط المماس



الشكل 15-4 المحافظة على المقياس في الإسقاط القاطع

إذاً، تسمى الخطوط التي يكون عندها المقياس ثابتاً وصحيحاً خطوطاً قياسية، سواء كانت مستقيمة أو منحنية. ومن البدهي أن الخطوط التي يمس سطح الإسقاط فيها السطح المرجعي (المجسم الإهليلجي أو الكرة) أو يقطعه بها خطوط قياسية يكون عندها المقياس ثابتاً وصحيحاً.

يسمى مقياس الخريطة في هذه الخطوط المقياس الصحيح (true scale) لأنها تحافظ على صحة وثبات المقياس الرئيسي (principal scale) للخريطة فيها، بينما يسمى المقياس على طول الخطوط الأخرى في بقية الخريطة المقياس الفعلي أو المقياس الخاص (actual scale or particular scale) لهذه الخطوط، أو مقياس النقطة (point scale) إذا كانت نقطة، ويختلف في الخريطة من ناحية إلى أخرى.

تسمى النسبة بين المقياس الفعلي على طول خط L والمقياس الرئيسي للخريطة عامل المقياس (scale factor: SF) على طول L :

$$SF_L = \frac{Actual\ Scale_L}{Principal\ Scale_{Map}}$$

إذا كان المقياس الرئيسي لخريطة 1:500,000 مثلاً، يكون عامل المقياس على طول الخط القياسي 1، لأن المقياس الفعلي يساوي المقياس الرئيسي فيهما، بينما يكون عامل المقياس أكبر أو أصغر من 1 فيما عدا ذلك. فإذا كان المقياس الفعلي على طول خط ما في ناحية أخرى من الخريطة 1:400,000، يكون عامل المقياس فيه إذاً 1.25.

وبذات الطريقة، إذا كان عامل المقياس على طول خط ما من الخريطة 0.9996، وقيست مسافة بين نقطتين على طول هذا الخط وتم تحويلها إلى المسافة على الأرض باستخدام مقياس الخريطة لن تمثل المسافة الحقيقية على الأرض، بل ستساوي 99.96٪ فقط منها.

4.8. كيف يعمل الإسقاط

ذكرنا سابقاً أن الإسقاط يكون منظورياً أو باستخدام معادلات رياضية لا علاقة لها بالأساليب الهندسية أو الفيزيائية. بغض النظر عن أسلوب التحويل، يعرف الإسقاط بمجموعتين من معادلات التحويل، الأولى هي العلاقة المباشرة (direct relation) التي تقوم بتحويل الإحداثيات ثلاثية الأبعاد من السطح المرجعي إلى إحداثيات ثنائية الأبعاد على سطح الإسقاط، والثانية هي العلاقة العكسية (inverse relation) التي تقوم بتحويل عكسي. وللعلاقة العكسية تطبيقات مهمة فهي تمكننا من تحويل البيانات من إسقاط إلى آخر.

يمكن تعريف معادلات التحويل بأنها علاقة بين إحداثيات (φ, λ) نقاط السطح المرجعي وبين إحداثيات (x, y) نقاط سطح الإسقاط. وتأخذ العلاقة المباشرة هذا الشكل:

$$\begin{aligned} x &= f_1(\varphi, \lambda) \\ y &= f_2(\varphi, \lambda) \end{aligned}$$

بينما تأخذ العلاقة العكسية الشكل:

$$\begin{aligned} \varphi &= f_1(x, y) \\ \lambda &= f_2(x, y) \end{aligned}$$

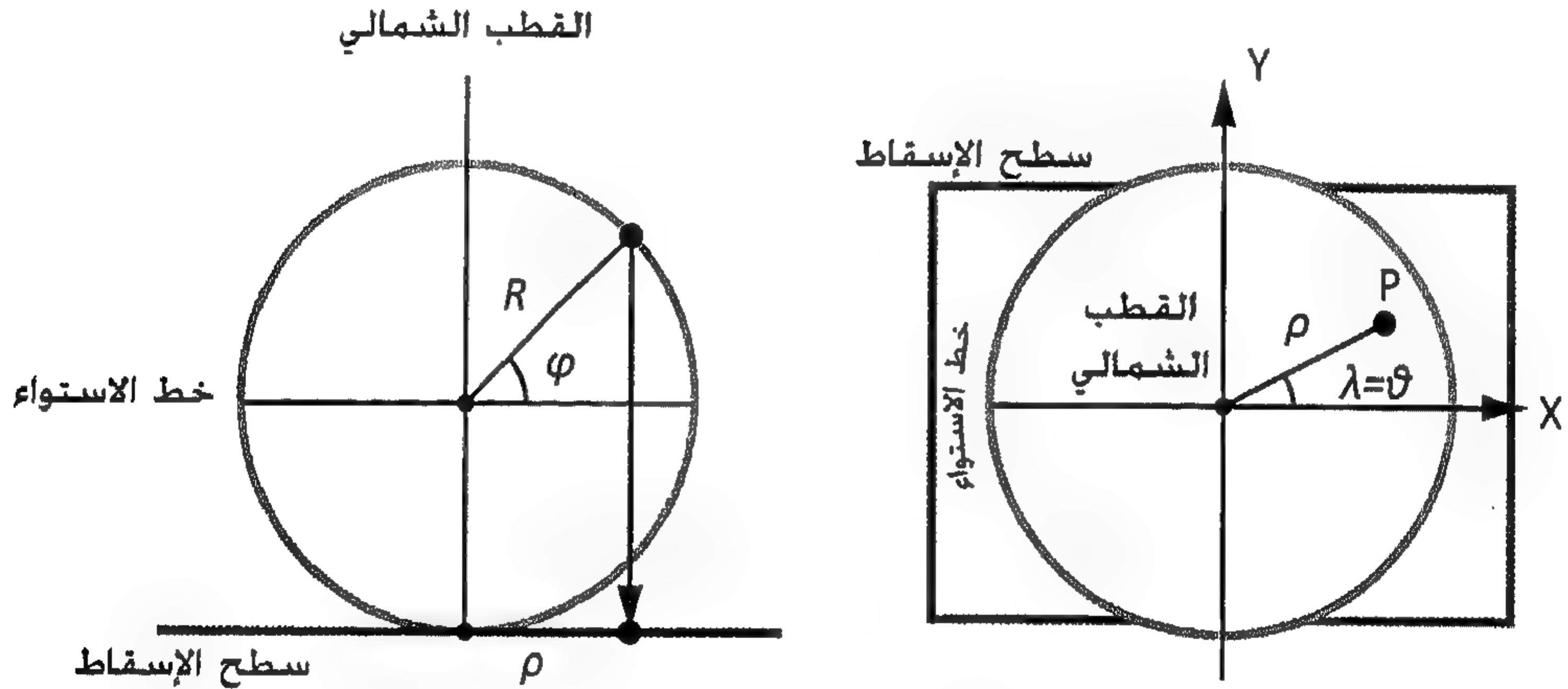
عندما تكون الشبكة الكارتوغرافية الناتجة من الإسقاط خطوطاً مستقيمة متعامدة، فهذا يعني أن العلاقة المباشرة من الشكل:

$$x = f_1(\lambda)$$

$$y = f_2(\varphi)$$

لنفترض أننا وضعنا كرة (السطح المرجعي الذي يمثل الأرض) نصف قطرها R على سطح مستو مواز لمستوي الاستواء، يمس الكرة في قطبها الجنوبي، وأن مصدراً للضوء يقع فوق القطب الشمالي على مسافة لا نهاية لها. تسقط الأشعة المتوازية من مصدر الضوء فوق نصف الكرة الشمالي راسمة النقطة P على ذلك السطح المستوي.

يمكننا تفسير الإسقاط المُعَامِد السمتي هذا بما يلي:



الشكل 16-4 التفسير الرياضي للإسقاط

من قوانين المثلثات:

$$\rho = R \cos \varphi$$

الزاوية θ تساوي زاوية الطول:

$$\theta = \lambda$$

إذاً، الإحداثيات (x, y) للنقطة (φ, λ) في الإسقاط المُعَامِد السمتي حسب قوانين المثلثات هي:

$$x = \rho \cos \theta$$

$$y = \rho \sin \theta$$

إن الإسقاطات المنظورية أو الهندسية التي تعتمد أسلوباً هندسياً فيزيائياً يحاكي إسقاط أشعة الضوء على السطح المرجعي بحيث ترسم معالمه على سطح الإسقاط يمكن أن تكون محدودة، لكن تذكر أنه لا يوجد حدود لأنواع الإسقاطات التحليلية التي يمكن أن تصممها باستخدام معادلات التحويل الرياضية، بل من المؤكد أن عدد هذه الإسقاطات لا نهاية له.

4.9. وسطاء إسقاط الخريطة

تحدد العلاقة بين شبكة إسقاط الخريطة (map projection grid) وبين شبكة خطوط العرض والطول الجغرافية على المجسم الإهليلجي من خلال طريقة الإسقاط ومجموعة من الوسطاء.

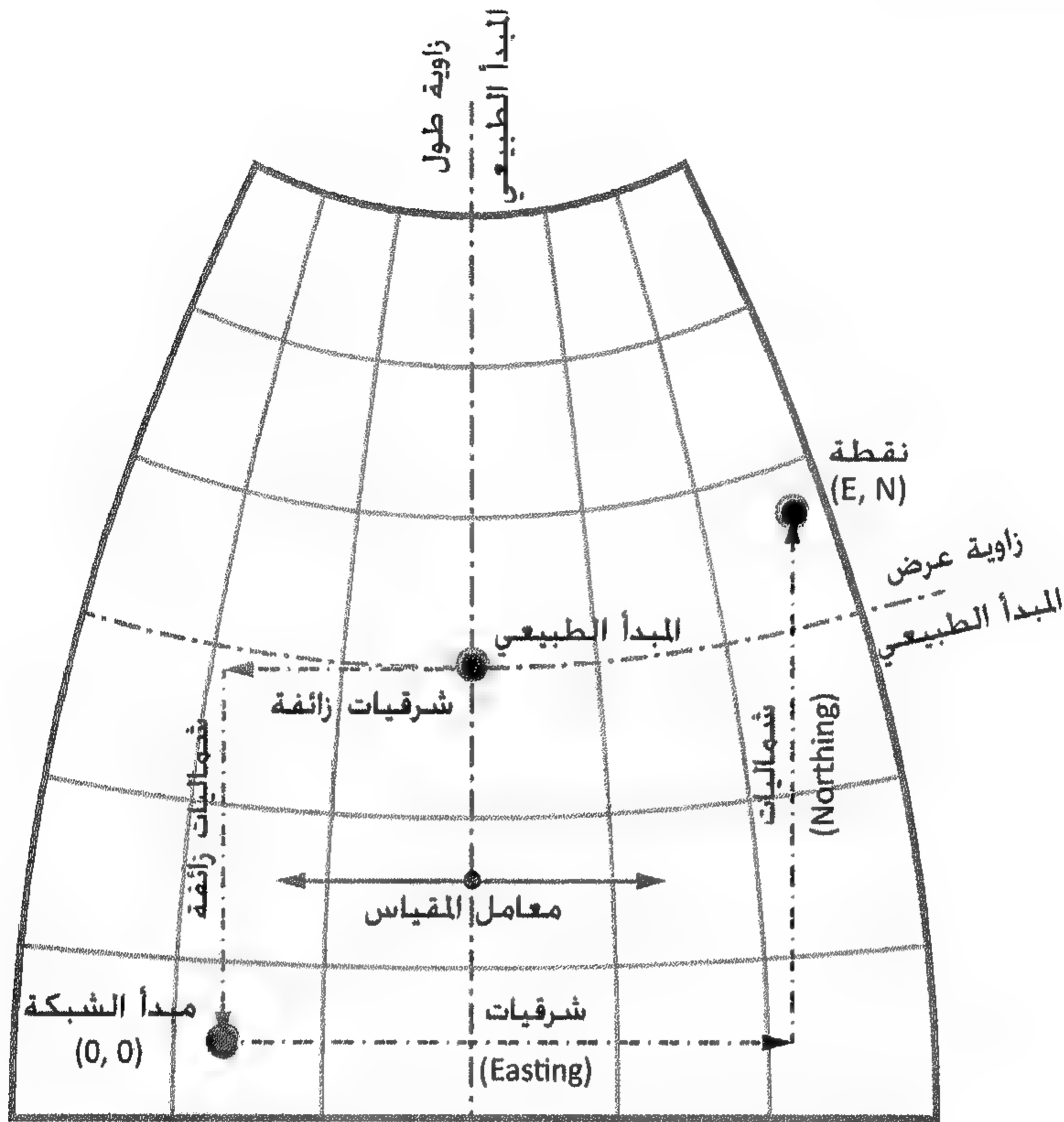
تتوفر عادة نقطة مشتركة بين سطح الإسقاط وسطح المجسم الإهليلجي تسمى المبدأ الطبيعي (natural origin) وتكون مبدأ الإسقاط أو بالقرب منه، تكون إحداثياتها المُسقطة (0, 0) على الخريطة إذا كانت قيمة الإحداثيات الزائفة معدومة. يكون التشوه معدوماً في المبدأ الطبيعي ويزداد كلما ابتعدنا عنه، ولذلك يساعد انتقاء نقطة في منتصف أراضي الدولة على تقليل التشوه الناتج من الإسقاط قدر الإمكان.

وبما أن المبدأ الطبيعي يقع في مبدأ الإسقاط أو بالقرب منه، تظهر في الإحداثيات قيم سالبة إلى الغرب والجنوب منه، ما ينتج منه صعوبة في التعامل مع الخرائط. يمكن التخلص من القيم السالبة بتعيين شرقيات زائفة (false easting: FE) وشماليات زائفة (false northing: FN) إلى إحداثيات المبدأ الطبيعي ما يجعل قيم جميع إحداثيات المعالم في المنطقة موجبة. مثال ذلك الشرقيات الزائفة في جميع المناطق في إسقاط ميركاتور المستعرض العالمي (UTM) هي 500,000 متر، بينما تكون الشماليات الزائفة 0 متر في النصف الشمالي من الكرة، و10,000,000 متر في النصف الجنوبي منها.

يمكن تعيين إحداثيات زائفة للمبدأ الطبيعي لهدف آخر هو تصغير قيم الإحداثيات، فإذا كانت جميع الشماليات في أراضي المنطقة أكبر من خمسمائة ألف متر مثلاً، يمكن اعتماد شماليات زائفة بقيمة 5,00,000- لتصغير قيم الشماليات واستخدام أرقام صغيرة، وهكذا.

يتقاطع في المبدأ الطبيعي خطا عرض وطول مختاران بحيث يناسبان الهدف من الإسقاط، ويسمى هذان الخطان بأسماء مختلفة حسب نوع الإسقاط، وعموماً، يسمى خط العرض المار بالمبدأ الطبيعي زاوية عرض المبدأ الطبيعي (latitude of natural origin) أو دائرة العرض المركزية (central parallel) ويرمز لها بـ φ_0 ، ويسمى زاوية خط الطول المار بالمبدأ الطبيعي زاوية طول المبدأ الطبيعي (longitude of natural origin) أو خط الزوال المركزي (central

(meridian: CM)، ويرمز لها بـ λ_0 .



الشكل 4-17 وسطاء الإسقاط في إسقاط ميركاتور المستعرض

يقلل عامل المقياس (scale factor) التشوه بشكل عام في المنطقة التي يغطيها الإسقاط، ويرمز له بـ k_0 . عامل المقياس هو نسبة يمكن تطبيقها على النقطة أو الخط المركزي في الإسقاط. في إسقاط ميركاتور المستعرض مثلاً يكون عامل المقياس 0.9996 على طول خط الزوال المركزي، ما يعني وجود خطي طول موازيين له تقريباً يبعد كل منهما حوالي 180 كيلومتر يساوي عامل المقياس فيهما 1.

ثمة وسطاء تظهر في أنواع إسقاط معينة، مثل الإسقاط المخروطي الذي يتطلب تعريف موازيين قياسييين (standard parallels)، وهما خطا العرض الذي يقطع بهما المخروط سطح الكرة أو المجسم الإهليلجي، ويرمز لهما بـ φ_1 و φ_2 .

ويتوفر العديد من أنظمة الإسقاط، يعرف كل نظام منها بوسطاء تختلف باختلاف نظام الإسقاط.

تختار كل دولة قيم وسطاء نظام الإسقاط حسب احتياجاتها، وقد لا توفرها للجهات الخاصة أو العامة، بل تصنفها في فئة المعلومات السرية. مع ذلك يمكن استنتاج قيم وسطاء نظام الإسقاط بمقارنة قيم الإحداثيات لمجموعة كافية من النقاط بين نظام الإسقاط المستخدم في الدولة ونظام آخر، نقوم بمقارنة قيم الإحداثيات بتجربة أكثر من قيمة إلى أن نتوصل إلى أفضل تقدير لهذه الوسطاء.

4.10. أنواع الإسقاط

فيما يلي نبذة مختصرة عن بعض أهم أنواع الإسقاط، وهي الإسقاط السمّي والمخروطي والأسطوانّي.

4.10.1. الإسقاط السمّي

تحافظ جميع الإسقاطات السمّية على السمّت من نقطة مرجعية تكون عادة في مركز الخريطة، يمكن منها قياس الاتجاه الصحيح (وليس بالضرورة المسافة) إلى أي نقاط أخرى. تسمى الإسقاطات السمّية الإسقاطات المستوية (planar projections) أيضاً لأنها ناتجة من إسقاط منظوري على سطح مستو، ويشيع استخدامها في المناطق القطبية.



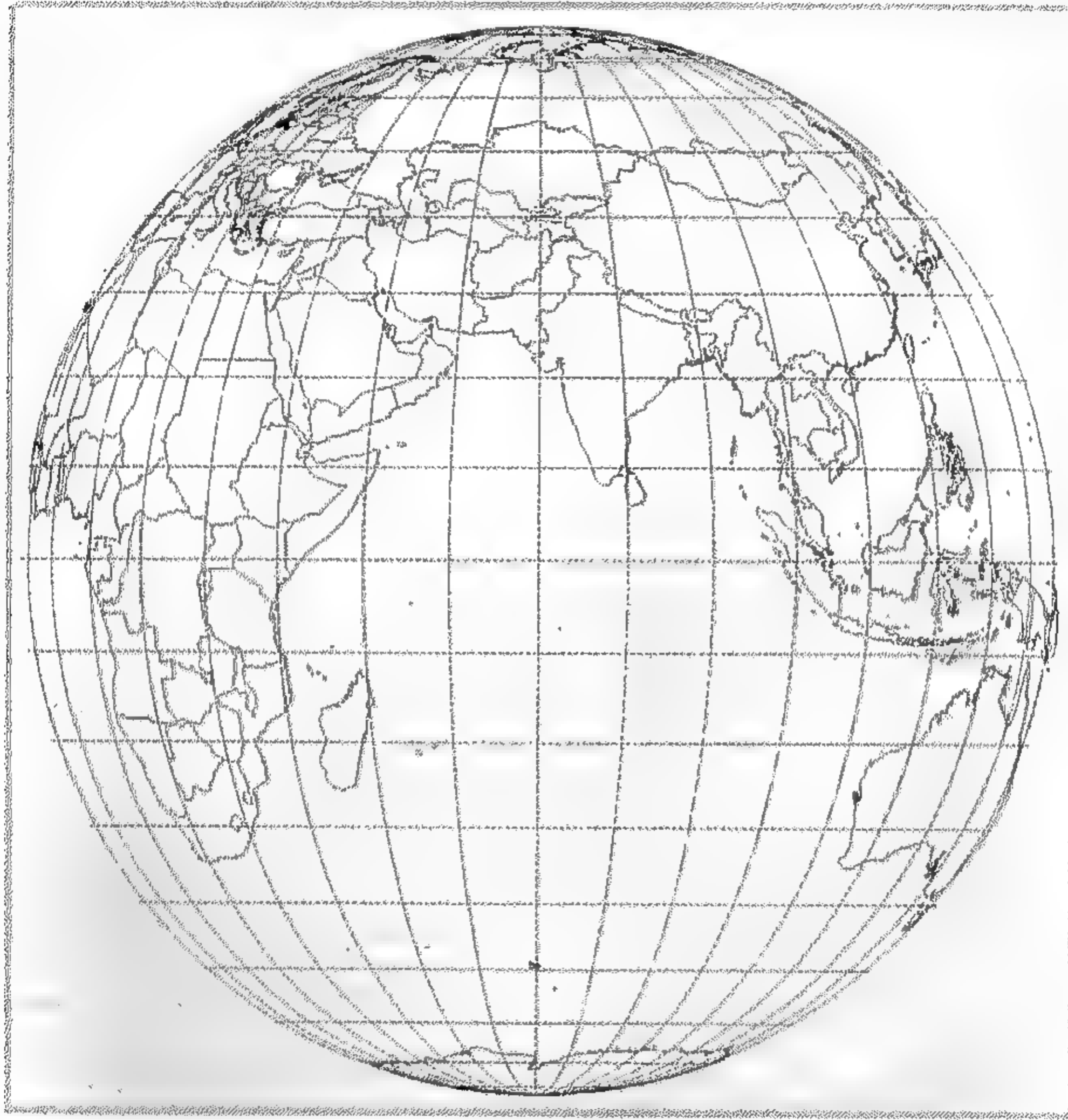
الشكل 4-18 مصادر الإضاءة في أنواع الإسقاط السمّي

لنقطة التي يمس بها سطح الإسقاط السطح المرجعي أهمية كبرى، فهي مبدأ الإسقاط، والمسار الأقصر من مبدأ الإسقاط إلى أي نقطة أخرى هو الخط المستقيم الذي يصل بينهما. يزداد تشوّه المساحات والأشكال كلما ابتعدنا عن المبدأ، ولذلك يناسب هذا الإسقاط المناطق شبه الدائرية.

يمكن دفع سطح الإسقاط إلى داخل الكرة ليكون قاطعاً لها، وبذلك يكون التشوّه معدوماً في محيط الدائرة التي تتشكل من تقاطع السطح والكرة.

4.10.1.1. الإسقاط المُعامِد السمتي

يُستخدم الإسقاط المُعامِد السمتي (azimuthal orthographic projection) أساساً لأغراض الإيضاح، وتظهر فيه الأرض كما ترى من الفضاء من نقطة بعيدة بلا نهاية، لكن التشوه الكبير في أشكال المعالم ومساحاتها عند حدود الخريطة يمنع من استخدامه في خرائط العالم العامة. يحافظ هذا الإسقاط من ناحية أخرى بدقة على المقياس على طول أي دائرة مركزها ينطبق مع مبدأ الإسقاط، مثل دوائر العرض عندما يكون سطح الإسقاط في المنظر القائم.



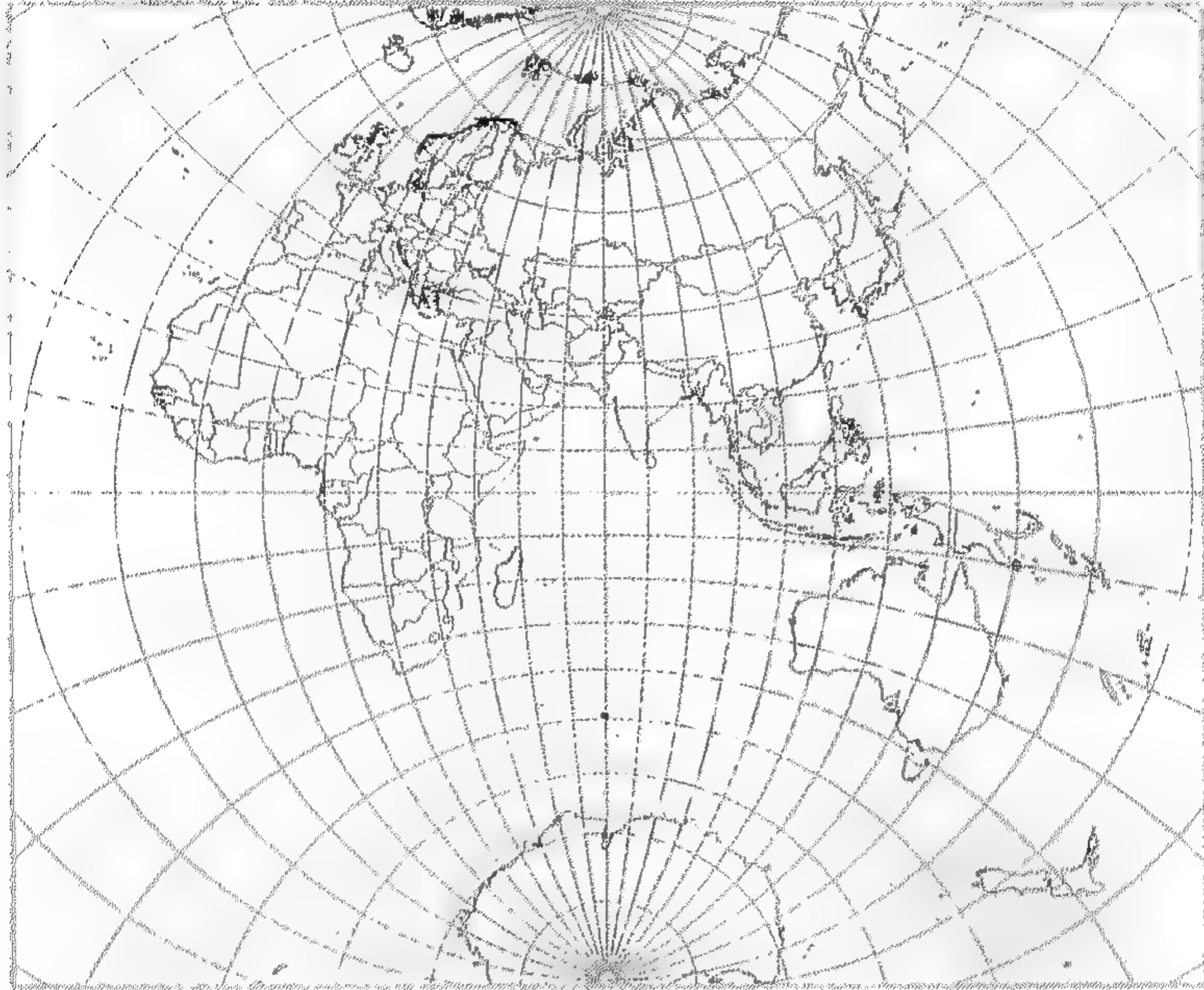
الشكل 4-19 خريطة العالم في الإسقاط المُعامِد السمتي مع ضبط خط الزوال المركزي عند 70 درجة شرق

4.10.1.2. الإسقاط المجسّم السمتي

الإسقاط المجسّم السمتي (azimuthal stereographic projection): الإسقاط المجسّم السمتي هو الإسقاط المطابق الوحيد من بين بقية الإسقاطات السمتية. يعني ذلك أنه على مساحة صغيرة تكون الزوايا على الخريطة مساوية للزوايا المقابلة لها على سطح الأرض. يحافظ هذا الإسقاط على دوائر العرض والطول مهما كانت كبيرة (تتحول الدوائر الكبرى المارة بنقطة الإسقاط المركزية إلى خطوط مستقيمة)، إلا أن الدوائر متحدة المركز على الكرة لن تبقى متحدة المركز بشكل عام على الخريطة.

يستخدم هذا الإسقاط طريقة هندسية بسيطة، الأشعة المنبثقة عن مصدر تخترق سطح الأرض لتسقط على مستو مماس في نقطة مقابلة لها، والنتيجة هي صورة لخريطة تغطي المستوي بأكمله. ويجب الإشارة إلى أن المناطق القريبة من مصدر الضوء لا يمكن إسقاطها.

ولأن المقياس يتشوه كلما ابتعدنا عن مركز الخريطة، على النقيض من الإسقاط المُعَامِد السمتي، يُقَيَّد هذا الإسقاط بنصف الكرة المواجه لنقطة المصدر، أو منطقة أصغر.



الشكل 4-20 خريطة العالم في الإسقاط المجسّم السمتي مع ضبط خط الزوال المركزي عند 70 درجة شرق

يمكن أن يكون سطح الإسقاط في المنظر القائم أو المنظر المستعرض أو المنظر المائل. يستخدم الإسقاط المجسّم المائل (oblique stereographic) في سوريا ويطلق عليه / Deir ez Zor / Levant Stereographic ويرمز له في قاعدة بيانات EPSG بالرمز 22780، ويمكن شرحه بالنص المعروف (WKT) أدناه، حيث يشار إلى النظام المرجعي للإحداثيات المسقطة اختصاراً بـ PROJCS:

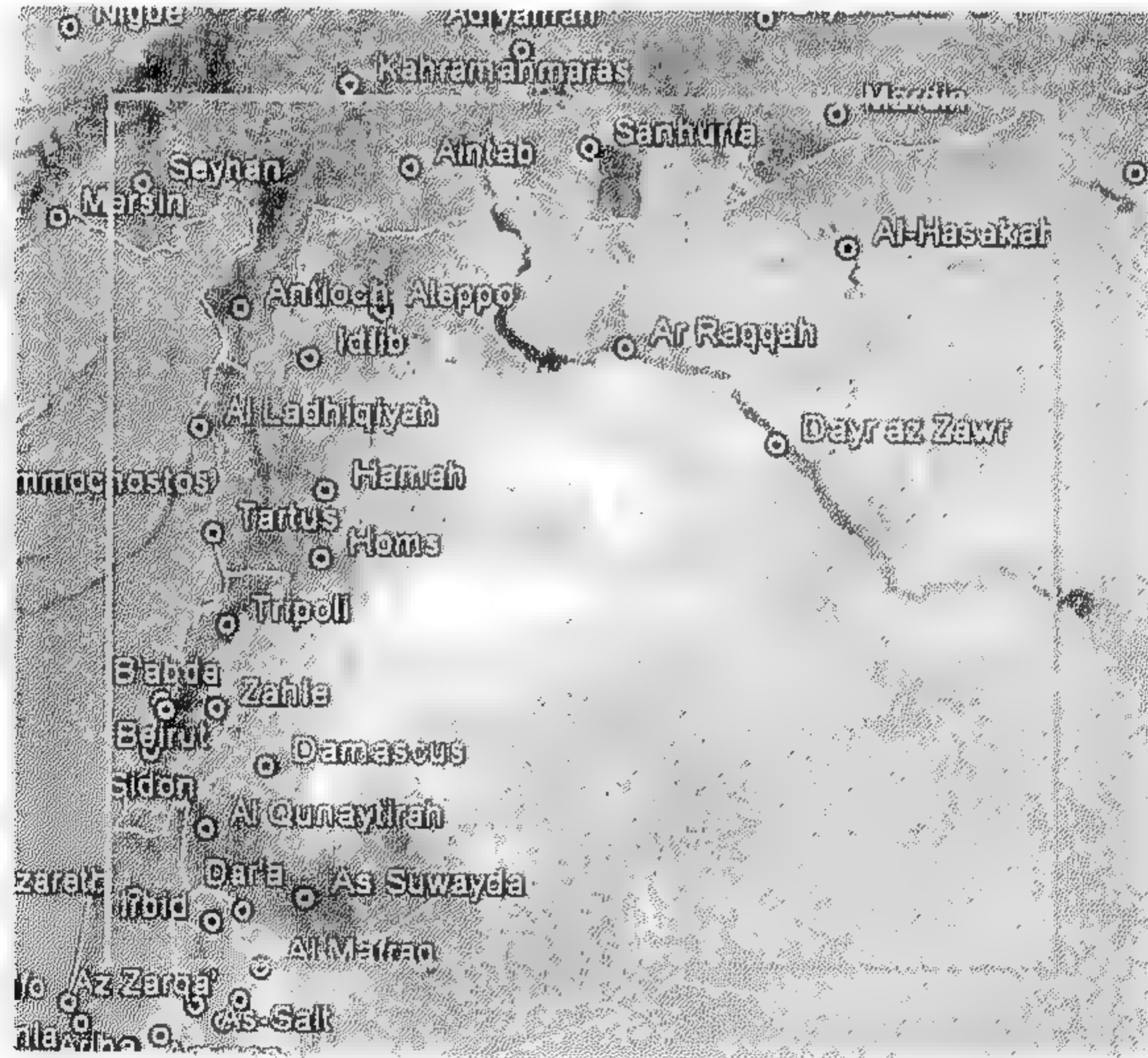
```
PROJCS["Deir ez Zor / Levant Stereographic",
  GEOGCS["Deir ez Zor",
    DATUM["Deir ez Zor",
      SPHEROID["Clarke 1880 (IGN)",6378249.2,293.46602129363,
        AUTHORITY["EPSG","7011"]],
      AUTHORITY["EPSG","6227"]],
```

```

PRIMEM["Greenwich",0,
AUTHORITY["EPSG","8901"]],
UNIT["degree",3.14159265358979,
AUTHORITY["EPSG","9001"]],
AUTHORITY["EPSG","4227"]],
UNIT["metre",1,AUTHORITY["EPSG","9001"]],
PROJECTION["Oblique Stereographic"],
PARAMETER["Latitude of natural origin", "38"],
PARAMETER["Longitude of natural origin", "43.5"],
PARAMETER["Scale factor at natural origin", "0.9995341"],
PARAMETER["False easting", "0"],
PARAMETER["False northing", "0"],
AUTHORITY["EPSG","22780"],
AXIS["Easting",east],
AXIS["Northing",north]]

```

يعتمد هذا النظام على النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية Deir ez Zor المبني على مرجع جيوديسي يحمل الاسم ذاته. المجسم الإهليلجي المستخدم (IGN) Clarke 1880.



الشكل 4-21 حدود استخدام النظام Deir ez Zor / Levant Stereographic

لاحظ أن القاعدة العامة في تسمية الأنظمة المرجعية للإحداثيات المسقطه تقضي بذكر اسم النظام المرجعي الجغرافي مع اسم النظام المرجعي للإحداثيات المسقطه لإزالة أي التباس (Deir ez Zor / Levant Stereographic في مثالنا السابق)، لأن الإسقاط المجسم (stereographic) يمكن

استخدامه مع أي نظام مرجعي للإحداثيات الجغرافية. حالياً يتوفر أكثر من 15 نظاماً مرجعياً للإحداثيات المسقطة تستخدم الإسقاط المجسم مسجلة في قاعدة بيانات EPSG.

العملية رقم 9809 في قاعدة بيانات EPSG تسرد العلاقات المباشرة والعكسية ذات الصلة بالإسقاط المجسم السمتي عندما يكون سطح الإسقاط في المنظر المائل، نذكر منها العلاقة المباشرة.

بفرض الإحداثيات الجغرافية لمبدأ الإسقاط (λ_0, φ_0) يمكن إيجاد ثوابت الكرة المطابقة (conformal sphere) للمجسم الإهليلجي في مبدأ الإسقاط كما يلي:

ρ_0 نصف قطر الانحناء لخط الزوال عند زاوية العرض φ_0 :

$$\rho_0 = \frac{a(1 - e^2)}{(1 - e^2 \sin^2 \varphi_0)^{\frac{3}{2}}}$$

ν_0 نصف قطر الانحناء في الناظم الأعظم (prime vertical)؛ أي عند مستو عمودي على كل من المجسم الإهليلجي وخط الزوال المار بتلك النقطة، ويساوي:

$$\nu_0 = \frac{a}{\sqrt{(1 - e^2 \sin^2 \varphi_0)}}$$

نصف قطر الكرة المطابقة R :

$$R = \sqrt{\rho_0 \nu_0}$$

ثوابت الكرة المطابقة الأخرى n و c :

$$n = \sqrt{1 + \left(\frac{e^2 \cos^4 \varphi_0}{1 - e^2} \right)}$$

$$c = \frac{(n + \sin \varphi_0)(1 - \sin \chi_0)}{(n - \sin \varphi_0)(1 + \sin \chi_0)}$$

حيث:

$$\chi_0 = \frac{(w_1 - 1)}{(w_1 + 1)}$$

$$w_1 = (S_1 (S_2)^e)^n$$

$$S_1 = \frac{1 + \sin \varphi_0}{1 - \sin \varphi_0}$$

$$S_2 = \frac{1 + e \sin \varphi_0}{1 - e \sin \varphi_0}$$

تُحسب زاويتا العرض والطول المطابقين (χ_0, Λ_0) للمبدأ من العلاقات:

$$\chi_0 = \arcsin \left(\frac{(w_2 - 1)}{(w_2 + 1)} \right)$$

$$\Lambda_0 = \lambda_0$$

حيث:

$$w_2 = c (S_1 (S_2)^e)^n$$

يمكن إيجاد الإحداثيات المطابقة (χ, Λ) المكافئة للإحداثيات الجغرافية (φ, λ) لأي نقطة من العلاقتين:

$$\Lambda = n (\lambda - \Lambda_0) + \Lambda_0$$

$$\chi = \arcsin \left(\frac{(w - 1)}{(w + 1)} \right)$$

حيث:

$$w = c (S_a (S_b)^e)^n$$

$$S_a = \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi}$$

$$S_b = \frac{1 + e \sin \varphi}{1 - e \sin \varphi}$$

ثم يتم إيجاد الشرقيات والشماليات بالعلاقتين:

$$E = FE + 2 R k_0 \frac{\cos \chi \sin(\Lambda - \Lambda_0)}{B}$$

$$N = FN + 2 R k_0 \frac{(\sin \chi \cos \chi_0 - \cos \chi \sin \chi_0 \cos(\Lambda - \Lambda_0))}{B}$$

حيث:

$$B = (1 + \sin \chi \sin \chi_0 + \cos \chi \cos \chi_0 \cos(\Lambda - \Lambda_0))$$

مشروع:

يراد إيجاد الإحداثيات المسقطة باستخدام الإسقاط المجسم المائل Deir ez Zor / Levant Stereographic لنقطة إحداثياتها (φ, λ) في النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية Deir ez Zor ما يلي:

$$\begin{aligned} \varphi &= 36^\circ 2' 1.8496'' = 0.628909274 \text{ Rad} \\ \lambda &= 36^\circ 41' 28.5934'' = 0.640383572 \text{ Rad} \end{aligned}$$

الحل:

الوسطاء المذكورة في النص المعروف السابق، وتحويل مبدأ الإسقاط من الغراد إلى الدرجة:

$$\begin{aligned} \varphi_0 &= 34^\circ 12' 00'' = 0.596902604 \text{ Rad} \\ \lambda_0 &= 39^\circ 09' 00'' = 0.683296402 \text{ Rad} \end{aligned}$$

أولاً نقوم بإيجاد ثوابت الكرة المطابقة:

$$\begin{aligned} \rho_0 &= 6355334.828 \\ v_0 &= 6385115.225 \\ R &= 6370207.624 \\ n &= 1.001601438 \\ c &= 1.003008282 \end{aligned}$$

حيث:

$$\begin{aligned} S_1 &= 3.567079437 \\ S_2 &= 0.911383542 \\ w_1 &= 3.547055425 \end{aligned}$$

$$\sin \chi_0 = 0.560154911$$

$$w_2 = 3.557725968$$

$$\chi_0 = 0.595816409$$

$$\Lambda_0 = \lambda_0 = 0.683296402$$

الإحداثيات المطابقة (χ, Λ) للنقطة المذكورة:

$$\chi = 0.627753251$$

$$\Lambda = 0.64031485$$

ومنه:

$$B = 1.998871375$$

وبالتالي فإن الإحداثيات المسقطة للنقطة:

$$E = -221554.5235 \text{ m}$$

$$N = 206102.1834 \text{ m}$$

4.10.1.3 إسقاط المِزُولَة

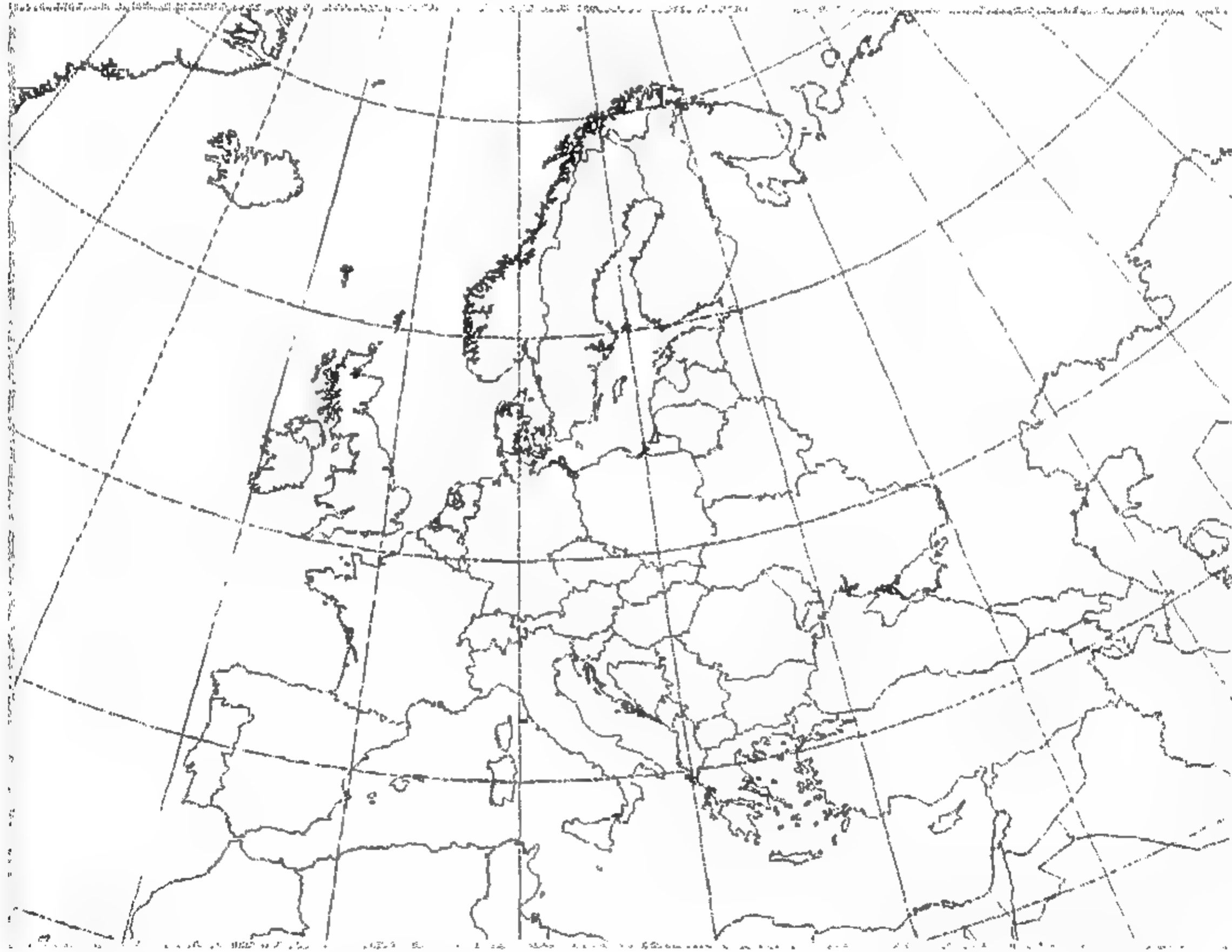
يُنشأ إسقاط المِزُولَة (gnomonic projection) - ويسمى أيضاً الإسقاط المركزي (central projection or centographic projection) - بشكل يشبه إلى حد كبير طريقة عمل الإسقاط المجسّم السمّي، ولكن مصدر الأشعة يقع في مركز الكرة بالضبط، وبالتالي يمكن إسقاط أقل من نصف الكرة الأرضية فقط في وقت واحد. تتشوه المسافة والشكل بوضوح باستثناء المناطق القريبة جداً من نقطة المماس.

يتميز هذا الإسقاط بخاصية فريدة ومهمة، وهي إسقاط جميع الأقواس الجيوديسية بما في ذلك خط الاستواء وخطوط الطول في صورة خطوط مستقيمة لأن مصدر الضوء يقع في مركز الكرة، ما يجعل من السهل العثور على أقصر طريق بين أي نقطتين، وإن لم يكن الاتجاه بينهما صحيحاً. لذلك يستعمل هذا الإسقاط في تخطيط المسارات الجوية والبحرية.

4.10.2. الإسقاط المخروطي

في الإسقاط المخروطي (conical projection) تسمى دائرة العرض التي يمس بها المخروط الكرة في المنظر القائم خط العرض الرئيسي أو الموازي القياسي (standard parallel)، ويكون خطأً وهو أحد الخطوط القياسية في الخريطة ويكون عندها المقياس ثابتاً وصحيحاً. تتميز الإسقاطات المخروطية في المنظر القائم بأن خطوط الطول مستقيمة وجميعها خطوط قياسية تتقارب في نقطة هي عادة القطب. تكون الموازيات في هذا الإسقاط أقواساً من دائرة متمركزة في نقطة التقاء خطوط الطول. ونتيجة لذلك، تقطع المتوازيات خطوط الطول بزوايا قائمة، كما يكون التشوه ثابتاً على طول كل مواز.

يقص المخروط على طول أحد خطوط الطول، ثم ينشر، ويسمى خط الطول المناظر لخط قص المخروط خط الزوال المركزي (central meridian).



الشكل 4-22 خريطة أوروبا في إسقاط لامبرت المخروطي مُساوي المساحات

عندما يكون المخروط قاطعاً للسطح المرجعي يوفر الإسقاط المخروطي موازيين قياسين (2SP) أي خطي عرض رئيسين، يكون نمط التشوه في المنطقة المحصورة بينهما مختلفاً عن المناطق الأخرى، وبشكل عام يكون التشوه في الإسقاط المخروطي القاطع أقل من الإسقاط المخروطي المماس.

يختلف إظهار المعالم في الإسقاط المخروطي باختلاف المسافات الفاصلة بين الموازيات، وعندما

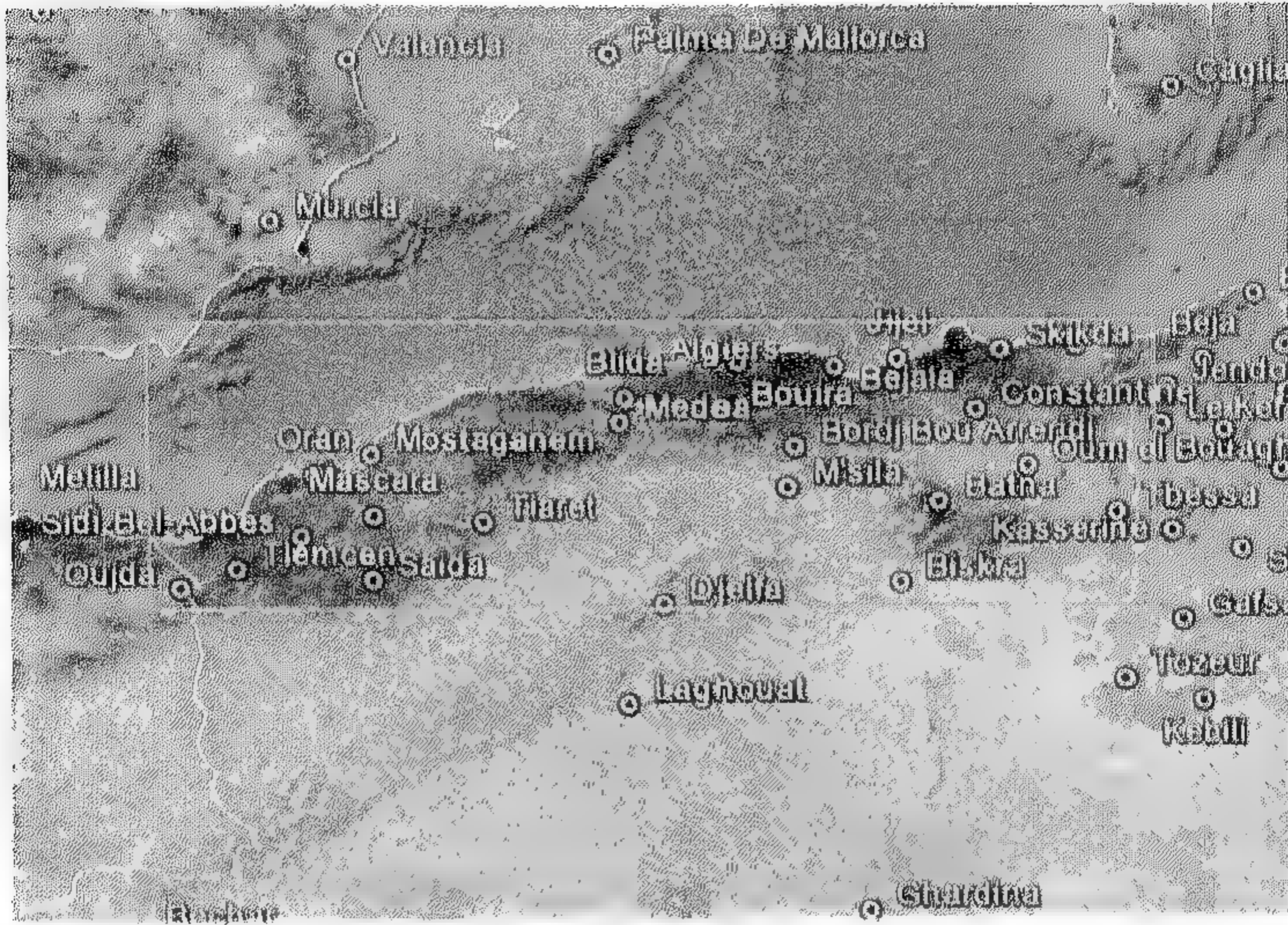
تساوى المسافات الفاصلة يكون الإسقاط مُساوي المسافة شمالاً وجنوباً، لكنه لا يحافظ على المساحة ولا أشكال المعالم.

استخدمت الإسقاطات المخروطية على نطاق واسع في الخرائط الإقليمية أو الوطنية في المناطق المعتدلة، خصوصاً المناطق المحصورة بين خطي طول غير بعيدين مثل روسيا وأوروبا والولايات المتحدة. مع العلم أن الإسقاطات المخروطية نادراً ما تستخدم لخرائط العالم.

يستخدم النظام المرجعي للإحداثيات المسقطة Nord Sahara 1959 / Voirol Unifie Nord في الجزائر شمالي خط العرض $34^{\circ}39'N$ ، ويرمز له في قاعدة بيانات EPSG بالرمز 30791. النص المعروف التالي يصف هذا النظام:

```
PROJCS["Nord Sahara 1959 / Voirol Unifie Nord",
  GEOGCS["Nord Sahara 1959",
    DATUM["Nord Sahara 1959",
      SPHEROID["Clarke 1880 (RGS)",6378249.145,293.465,
        AUTHORITY["EPSG","7012"]],
      AUTHORITY["EPSG","6307"]],
    PRIMEM["Greenwich",0,
      AUTHORITY["EPSG","8901"]],
    UNIT["degree",3.14159265358979,
      AUTHORITY["EPSG","9001"]],
    AUTHORITY["EPSG","4307"]],
    UNIT["metre",1,AUTHORITY["EPSG","9001"]],
    PROJECTION["Lambert Conic Conformal (1SP)",
      PARAMETER["Latitude of natural origin", "40"],
      PARAMETER["Longitude of natural origin", "3"],
      PARAMETER["Scale factor at natural origin", "0.999625544"],
      PARAMETER["False easting", "500135"],
      PARAMETER["False northing", "300090"],
      AUTHORITY["EPSG","30791"],
      AXIS["Easting",east],
      AXIS["Northing",north]]]
```

يعتمد هذا النظام على النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية Nord Sahara 1959، المبني على المرجع الجيوديسي الذي يحمل الاسم ذاته ويستخدم المجسم الإهليلجي (Clarke 1880 (RGS)، ويعتمد النظام من ناحية أخرى على إسقاط لامبرت المخروطي المطابق بموازي قياسي واحد (1SP).



الشكل 4-23 حدود استخدام النظام Nord Sahara 1959 / Voirol Unifie Nord

العملية رقم 9801 في قاعدة بيانات EPSG تسرد العلاقات المباشرة والعكسية ذات الصلة بإسقاط لامبرت المخروطي المطابق بموازي قياسي واحد، نذكر منها العلاقة المباشرة.

$$\begin{aligned} E &= FE + r \sin \theta \\ N &= FN + r_0 - r \cos \theta \\ n &= \sin \varphi_0 \\ m_0 &= \frac{\cos \varphi_0}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi_0}} \end{aligned}$$

حيث t و t_0 يحسبان من أجل φ و φ_0 من العلاقة:

$$\begin{aligned} t &= \frac{\tan\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right)}{\left(\frac{1 - e \sin \varphi}{1 + e \sin \varphi}\right)^{\frac{e}{2}}} \\ F &= \frac{m_0}{n (t_0)^n} \end{aligned}$$

حيث r و r_0 يحسبان من العلاقة:

$$r = a F t^n k_0$$

$$\theta = n (\lambda - \lambda_0)$$

مشروع:

يراد إيجاد الإحداثيات المسقطة باستخدام Nord Sahara 1959 / Voirol Unifie Nord لنقطة إحداثياتها (φ, λ) في النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية Nord Sahara 1959:

$$\varphi = 33^\circ 42' 15.55'' N = 0.588251346 \text{ Rad}$$

$$\lambda = 3^\circ 20' 20.18'' E = 0.058275477 \text{ Rad}$$

الحل:

الوسطاء المذكورة في النص المعروف السابق، وتحويل مبدأ الإسقاط من الغراد إلى الدرجة:

$$\varphi_0 = 36^\circ 00' 00'' N = 0.628318531 \text{ Rad}$$

$$\lambda_0 = 2^\circ 42' 00'' E = 0.04712389 \text{ Rad}$$

أولاً نقوم بإيجاد الثوابت:

$$m_0 = 0.809969493$$

$$t_0 = 0.511568728$$

$$F = 2.043393084$$

$$n = 0.587785252$$

$$R = 9040591.651$$

$$r_0 = 8785951.501$$

$$\theta = 0.006554739$$

$$t = 0.537048895$$

وبالتالي فإن الإحداثيات المسقطة للنقطة:

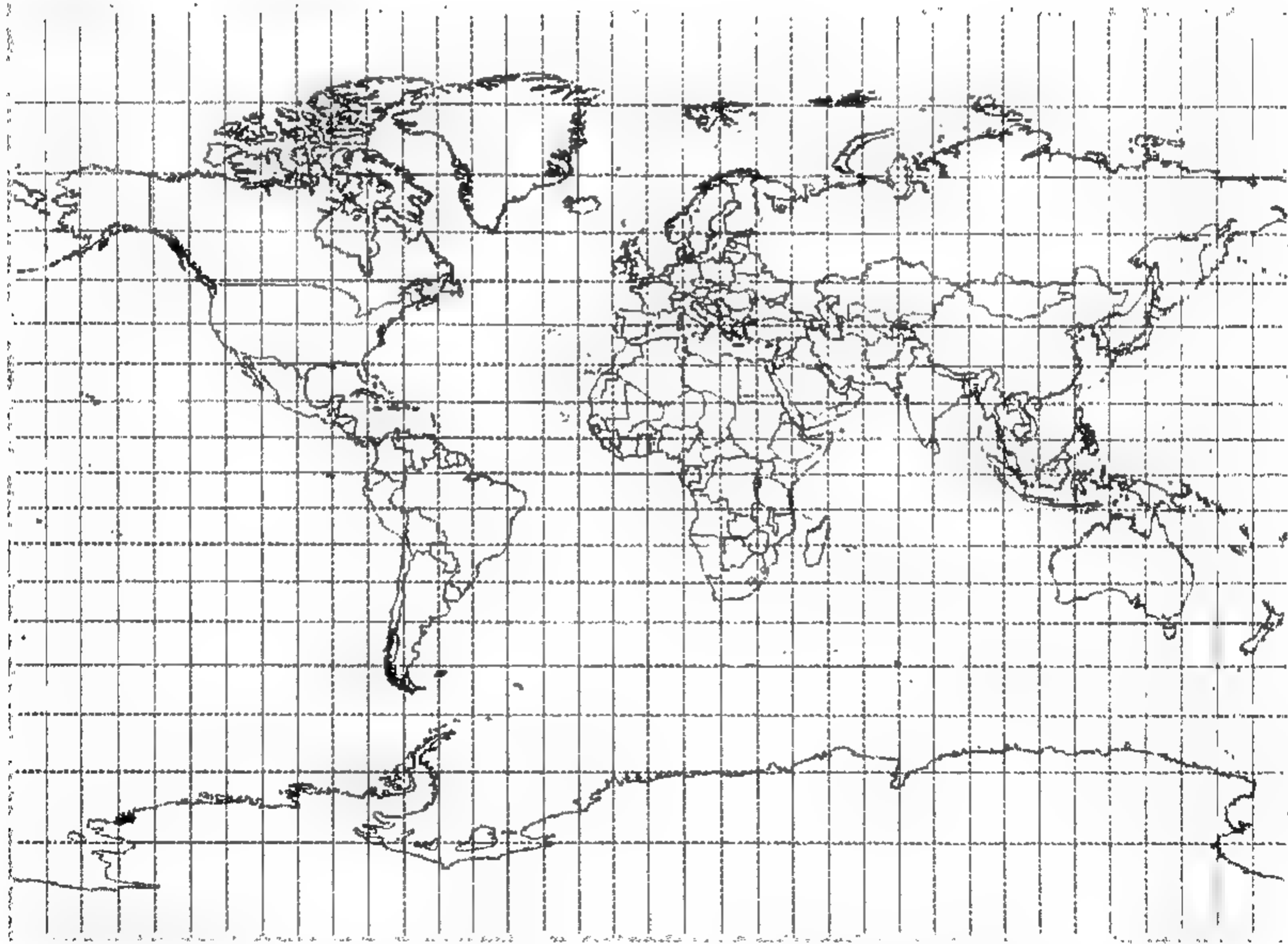
$$E = 559393.2905 \text{ m}$$

$$N = 45644.06218 \text{ m}$$

4.10.3. الإسقاط الأسطواني

في المنظر القائم، وهو المنظر الأكثر شيوعاً للإسقاط الأسطواني (cylindrical projection)، تكون جميع خطوط الإحداثيات مستقيمة، وتقطع المتوازيات خطوط الطول بزاوية قائمة، ولذلك تكون خرائط العالم في هذا الإسقاط مستطيلة دائماً. يكون المقياس ثابتاً على طول أي مواز، وهذا ما يفسر تباعد خطوط الطول بمسافة متساوية، كما يكون المقياس متساوياً بين أي زوج من المتوازيات متساوية البعد عن خط الاستواء.

يكون لجميع المتوازيات ذات الطول، كما يكون لخطوط الطول ذات الطول أيضاً، وهنا تبرز مشكلة الإسقاط الأسطواني الذي يختلف فيه المقياس اختلافاً كبيراً بين المتوازيات، حيث يبلغ ما لا نهاية له في القطبين على الخريطة، ولذلك تظهر نقطة القطب التي لا طول لها على الكرة مساوية في الطول لخط الاستواء.



الشكل 4-24 خريطة العالم في إسقاط Miller الأسطواني

تكون الأسطوانة إما مماسة للكرة أو قاطعة لها، ونتيجة لذلك تكون الخطوط القياسية في الخريطة إما خط التماس وهو خط الاستواء في الحالة الأولى أو خطي التقاطع وهما متوازيان (خطا عرض) في الحالة الثانية.

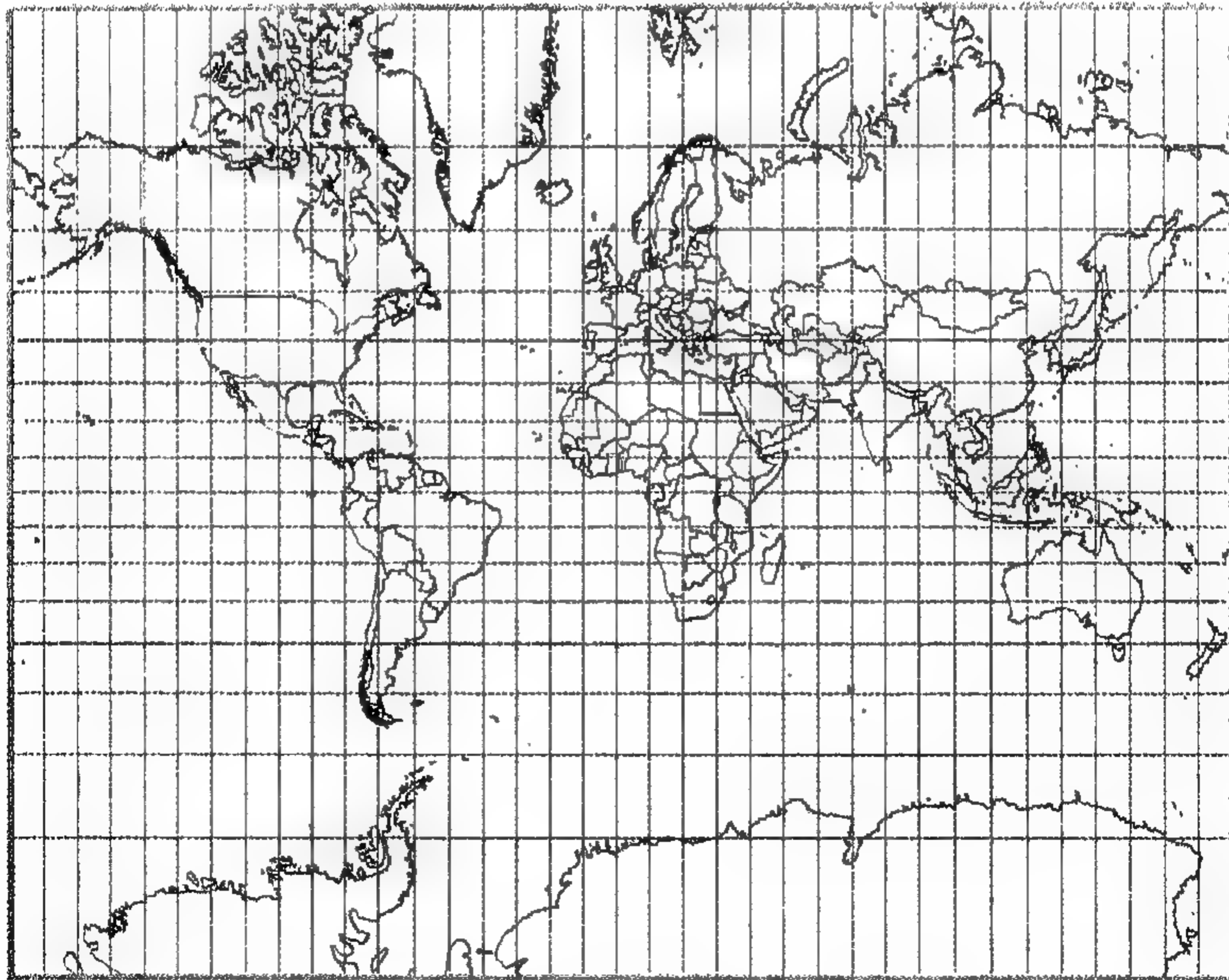
يشيع استخدام الإسقاطات الأسطوانية في المناطق الاستوائية. تتشابه الإسقاطات الاسطوانية

عموماً، ويمكن تمييز بعضها عن بعض من تباعد الموازيات.

4.10.3.1 إسقاط ميركاتور

يذكر التاريخ جيراردوس ميركاتور (Gerardus Mercator) الذي عاش في الفترة من 1512 إلى 1594م، بفضل إسقاطه الأسطواني الذي أصبح بعد وفاته بفترة طويلة الإسقاط القياسي في الملاحة نظراً لقدرته على تمثيل خطوط الاتجاه الثابت (انظر 4.4 السمات والاتجاه والمسار الأقصر) في صورة خطوط مستقيمة.

ويوضح الاسم الذي أطلقه ميركاتور على خريطته Nova et Aucta Orbis Terrae Descriptio ad Usam Navigantium Emendata أي "الشرح الجديد والمزيد للأرض والمصحح للملاحة" أن هدف الخريطة كان لأغراض الملاحة. وعلى الرغم من أن ميركاتور لم يشرح الطريقة التي اتبعها في إنشاء خريطته، يمكن تفسير إسقاطه بأسلوب هندسي، حيث قام بنقل خطوط الاتجاه الثابت المرسومة على كرة إلى شبكة مستطيلة وقام بضبط التباعد بين الموازيات بحيث تصبح هذه خطوط الاتجاه الثابت مستقيمة وتصنع مع خطوط الطول على الخريطة ذات الزاوية التي تصنعها مع خطوط الزوال على الأرض.



الشكل 4-25 خريطة العالم في إسقاط ميركاتور القائم

تكمن أهمية إسقاط ميركاتور (Mercator projection) بإمكانية رسم خط مستقيم بين نقطتي البداية والنهاية على الخريطة، واتباع الاتجاه (bearing) الذي يصنعه الخط مع خطوط الطول المحلية، ما يكفي للوصول إلى الوجهة المنشودة.

كان اختراع ميركاتور سابقاً لتقنيات عصره الملاحية والمساحية، إذ لم يكن ممكناً تحديد خط الطول في البحر بدقة كافية، كما كانت الاتجاهات المغناطيسية مستخدمة في الملاحة بدلاً من الاتجاهات الجغرافية. وهكذا لم يعتمد البحارة إسقاط ميركاتور إلا منتصف القرن 18، بعد اختراع الميقاتية البحرية (marine chronometer) ومعرفة توزع ظاهرة الانحراف المغناطيسي.

يصنف إسقاط ميركاتور وهو إسقاط أسطواني قائم في فئة الإسقاط المطابق، ويكون المقياس الخطي متساوياً في جميع الاتجاهات حول أي نقطة، ما يحافظ على زوايا وأشكال المعالم الصغيرة، لكنه يتسبب بتشويه حجم وشكل المعالم الكبيرة مع زيادة المقياس من خط الاستواء باتجاه القطبين، حيث يصبح المقياس لا نهاية له، ما يجعل هذا الإسقاط غير ملائم للمناطق القطبية.

تظهر الدوائر الكبرى في إسقاط ميركاتور في صورة أقواس، باستثناء خطوط الطول ودائرة الاستواء، ما يعني أن الخط المستقيم بين نقطتين لا يمثل المسار الأقصر بينهما إلا إذا كانت النقطتان واقعيتين على دائرة الاستواء أو على أحد خطوط الطول.

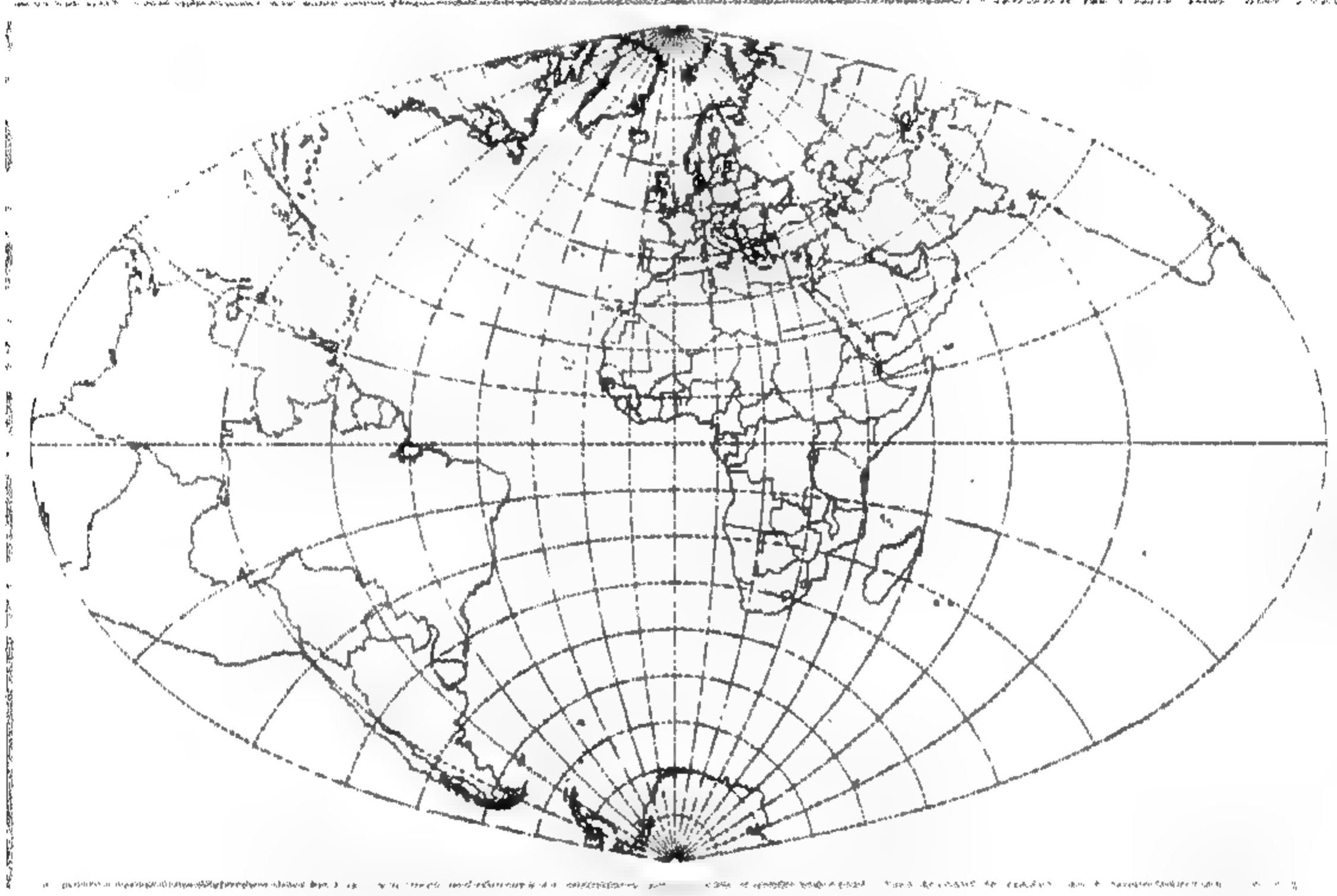
4.10.3.1.1 إسقاط ميركاتور المستعرض

إسقاط ميركاتور المستعرض (Transverse Mercator: TM) نسخة معدلة من إسقاط ميركاتور القياسي، تكون فيه الأسطوانة مستعرضة، بدلاً من المنظر القائم. وبما أن خطوط الزوال ليست مستقيمة يناسب هذا الإسقاط الخرائط الطوبوغرافية بمقياس كبير، بدلاً من الملاحة، ويستخدم على نطاق واسع في الخرائط الوطنية والدولية في مختلف أنحاء العالم، لما يوفره من دقة عالية في المناطق (zones) المحدودة ببضع درجات بين الشرق والغرب.

ونظراً للأساس المشترك لكلا الإسقاطين، أي ميركاتور القياسي (أي القائم) والمستعرض، يرث إسقاط ميركاتور المستعرض معظم صفات إسقاط ميركاتور القياسي:

- كلا الإسقاطان أسطواني: ينطبق محور الأسطوانة في إسقاط ميركاتور القائم مع المحور القطبي للسطح المرجعي (الكرة أو المجسم الإهليلجي) ويكون خط التماس بين الأسطوانة والسطح المرجعي خط الاستواء. يقع محور الأسطوانة في إسقاط ميركاتور المستعرض في المستوي الاستوائي، والأسطوانة تمس السطح المرجعي في خط زوال يحدده المستخدم، يسمى خط الزوال المركزي.

- يمكن تعديل كلا الإسقاطين بحيث يكونان قاطعين.
- يتوفر كلا الإسقاطين في نسختين، الكرة والمجسم الإهليلجي.
- كلا الإسقاطين مطابقان يحافظان على الأشكال المحلية
- كلا الإسقاطين يوفران خط مقياس ثابت عند دائرة تماس الأسطوانة والكرة (خط الاستواء في إسقاط ميركاتور القياسي وخط الزوال المركزي في إسقاط ميركاتور المستعرض).



الشكل 4-26 خريطة العالم في إسقاط ميركاتور المستعرض مع ضبط خط الزوال المركزي عند 0 درجة

يتسبب إسقاط ميركاتور المستعرض بتشوهات كبيرة كلما ابتعدنا عن مركزه، أي نقطة تقاطع خطي العرض والطول الرئيسيين.

عَرَضَ هذا الإسقاط وشرحه في حالة الكرة يوهان هاينغيش لامبرت (Johann Heinrich Lambert) في العام 1772 (إسقاط هندسي)، وفي العام 1825 وضع Carl Friedrich Gauss نسخة منه خاصة بالمجسم الإهليلجي بدلاً من الكرة (إسقاط تحليلي)، وقام بتحليلها Johann Heinrich Louis Krüger في العام 1912، ولذلك تعرف هذه النسخة باسم إسقاط Gauss المطابق، أو Gauss-Krüger.

ينتمي هذا الإسقاط إلى فئة الإسقاطات المطابقة ويوفر مقياساً ثابتاً على طول خط الزوال المركزي.

يُقسم المجسم الإهليلجي إلى مناطق (zones) عبارة عن حزوز طويلة أو أشرطة عرضها 6 درجات وتُرقم ابتداءً من خط الزوال الرئيسي باتجاه الشرق. خط الطول الذي يقع في منتصف المنطقة يسمى خط الطول الرئيسي وعنده تلامس الأسطوانة المجسم الإهليلجي أو الكرة، ويكون 3 و9 و12 درجة شرقاً وهكذا، وتسمى المناطق 1 و2 و3 الخ.

يكون عرض المناطق بعض التطبيقات الخاصة من إسقاط Gauss-Krüger 3 درجات، ويكون خط الطول الرئيسي فيها 1.5 و4.5 و7.5 درجة شرقاً وهكذا، وتسمى المناطق 1 و2 و3 الخ. تستخدم هذه التطبيقات في بعض البلدان مثل ألمانيا والنمسا والأرجنتين، ولا تعاني هذه الخرائط إلا من 1/6 مما يعانيه الإسقاط ذي مناطق الستة درجات من تشوه في المقياس.

تمثل كل منطقة بشكل مستقل، أولاً على الأسطوانة التي تغلف المجسم الإهليلجي. تمس الأسطوانة المجسم الإهليلجي على طول خط الطول الرئيسي، ومحورها يقع في مستوي الاستواء ماراً من مركز الأرض. يتم بعد ذلك نشر الأسطوانة على مستو. وتُعدّ نقطة تقاطع خط الاستواء وخط الطول الرئيسي في كل منطقة مبدأ نظام الإحداثيات الديكارتية ثنائية الأبعاد. تظهر خطوط الطول لكل منطقة أقواساً وبخاصة في نهاية خطوط الطول.

يظهر في كل منطقة تشوه في الأطوال يزداد كلما ابتعدنا عن خط الطول الرئيسي، ولذلك لا يمكن إسقاط المعالم الواقعة على بعد أكثر من 90 درجة من خط الطول الرئيسي، بل يجب أن يحد ذلك بالمعالم الواقعة على بعد لا يتجاوز 20 درجة من خط الطول الرئيسي كحد أقصى.

في قاعدة بيانات EPSG يُعدّ إسقاط ميركاتور المستعرض، وإسقاط Gauss-Krüger وإسقاط Gauss-Boaga طريقة إسقاط واحدة باسم ميركاتور المستعرض.

تستخدم إمارة دبي في دولة الإمارات العربية المتحدة نظاماً مرجعياً للإحداثيات المسقطة مبنياً على إسقاط ميركاتور المستعرض يسمى WGS 84 / Dubai Local TM يرمز له في قاعدة بيانات EPSG بالرمز 3997. النص المعرف (WKT) التالي يبين وسطاء هذا النظام:

```
PROJCS["WGS 84 / Dubai Local TM",
  GEOGCS["WGS 84",
    DATUM["World Geodetic System 1984",
      SPHEROID["WGS 84",6378137,298.257223563,
        AUTHORITY["EPSG","7030"]],
      AUTHORITY["EPSG","6326"]],
    PRIMEM["Greenwich",0,
      AUTHORITY["EPSG","8901"]],
    UNIT["degree",3.14159265358979,
```

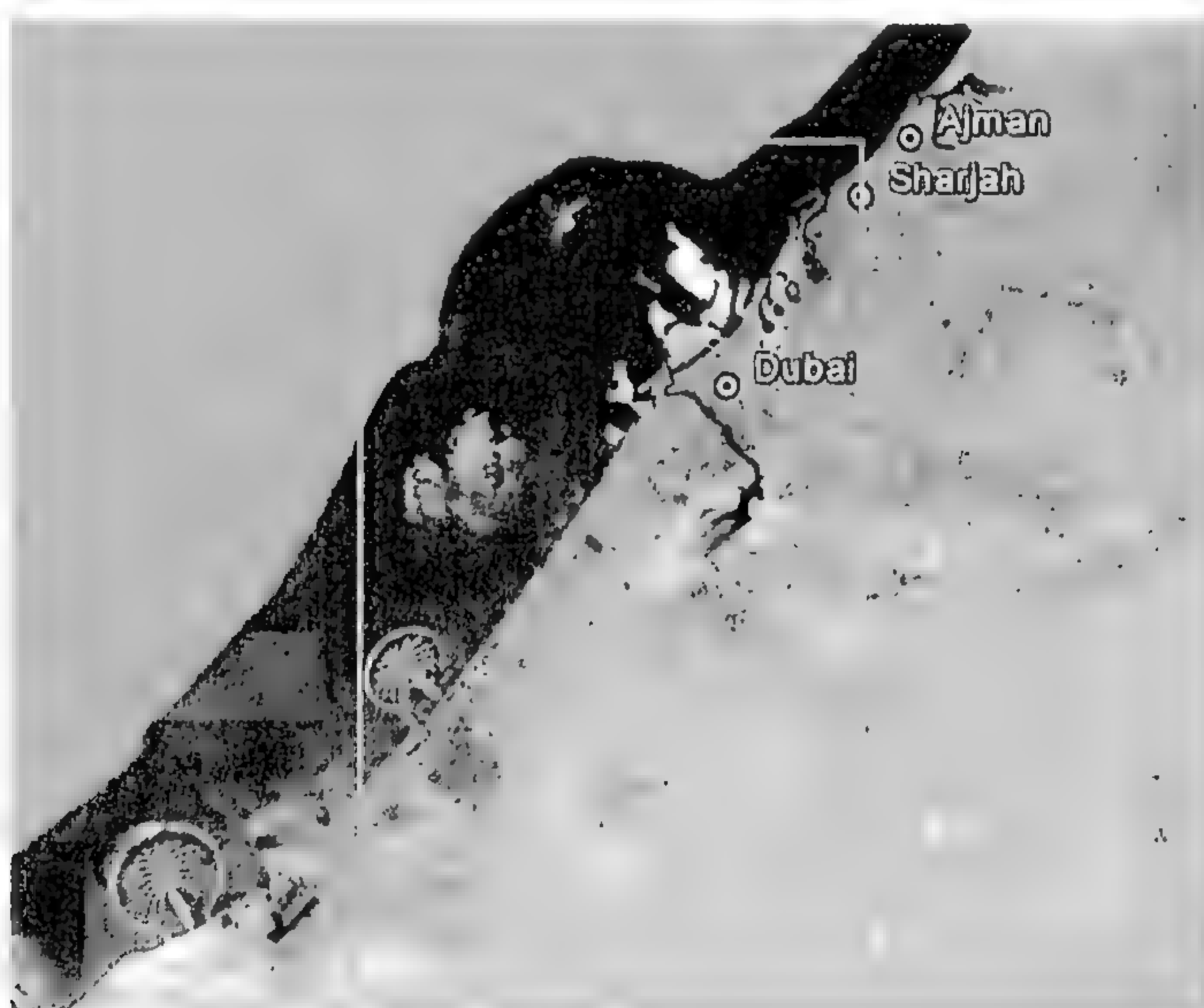


```

AUTHORITY["EPSG","9001"],
AUTHORITY["EPSG","4326"],
UNIT["metre",1,AUTHORITY["EPSG","9001"]],
PROJECTION["Transverse Mercator"],
PARAMETER["Latitude of natural origin", "0"],
PARAMETER["Longitude of natural origin", "55.2"],
PARAMETER["Scale factor at natural origin", "1"],
PARAMETER["False easting", "500000"],
PARAMETER["False northing", "0"],
AUTHORITY["EPSG","3997"],
AXIS["Easting",east],
AXIS["Northing",north]]

```

يعتمد هذا النظام على النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية WGS 84، ويعتمد من ناحية أخرى على إسقاط ميركاتور المستعرض.



الشكل 27-4 حدود استخدام النظام WGS 84 / Dubai Local TM

العملية رقم 9807 في قاعدة بيانات EPSG تسرد العلاقات المباشرة والعكسية ذات الصلة بإسقاط ميركاتور المستعرض، نذكر منها العلاقة المباشرة.

$$\begin{aligned}
 E &= FE + k_o v \left(A + \frac{(1 - T + C) A^3}{6} \right. \\
 &+ \left. \frac{(5 - 18 T + T^2 + 72 C - 58 e'^2) A^5}{120} \right) \\
 N &= FN + k_o \left(M - M_o \right. \\
 &+ v \tan \varphi \left(\frac{A^2}{2} + \frac{(5 - T + 9 C + 4 C^2) A^4}{24} \right. \\
 &+ \left. \left. \frac{(61 - 58 T + T^2 + 600 C - 330 e'^2) A^6}{720} \right) \right)
 \end{aligned}$$

حيث:

$$\begin{aligned}
 e' &= \sqrt{\frac{e^2}{1 - e^2}} \\
 T &= \tan^2 \varphi \\
 C &= \frac{e^2 \cos^2 \varphi}{(1 - e^2)} \\
 A &= (\lambda - \lambda_o) \cos \varphi
 \end{aligned}$$

حيث λ و λ_o بالراديان.

$$v = \frac{\alpha}{\sqrt{(1 - e^2 \sin^2 \varphi)}}$$

حيث M و M_o يحسبان من أجل φ و φ_o من العلاقة:

$$\begin{aligned}
 M = a & \left(\left(1 - \frac{e^2}{4} - \frac{3e^4}{64} - \frac{5e^6}{256} - \dots \right) \varphi - \left(\frac{3e^2}{8} + \frac{3e^4}{32} + \frac{45e^6}{1024} \right. \right. \\
 & \left. \left. + \dots \right) \sin(2\varphi) \right. \\
 & \left. + \left(\frac{15e^4}{256} + \frac{45e^6}{1024} + \dots \right) \sin(4\varphi) - \left(\frac{35e^6}{3072} + \dots \right) \sin(6\varphi) \right. \\
 & \left. + \dots \right)
 \end{aligned}$$

مشروع:

يراد إيجاد الإحداثيات المسقطة باستخدام WGS 84 / Dubai Local TM لنقطة إحداثياتها (φ , λ) في النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية WGS 84:

$$\varphi = 25^\circ 15' 44.12'' N = 0.440909536 \text{ Rad}$$

$$\lambda = 55^\circ 30' 25.04'' E = 0.968779132 \text{ Rad}$$

الحل:

مبدأ الإسقاط:

$$\varphi_0 = 0^\circ 00' 00'' N = 0 \text{ Rad}$$

$$\lambda_0 = 55^\circ 20' 00'' E = 0.965748853 \text{ Rad}$$

أولاً نقوم بإيجاد الثوابت:

$$T = 0.222682177$$

$$C = 0.005512059$$

$$A = 0.002740475$$

$$M = 2795105.487$$

$$\nu = 6382028.737$$

$$M_0 = 0$$

$$e' = 0.082094438$$

وبالتالي فإن الإحداثيات المسقطة للنقطة:

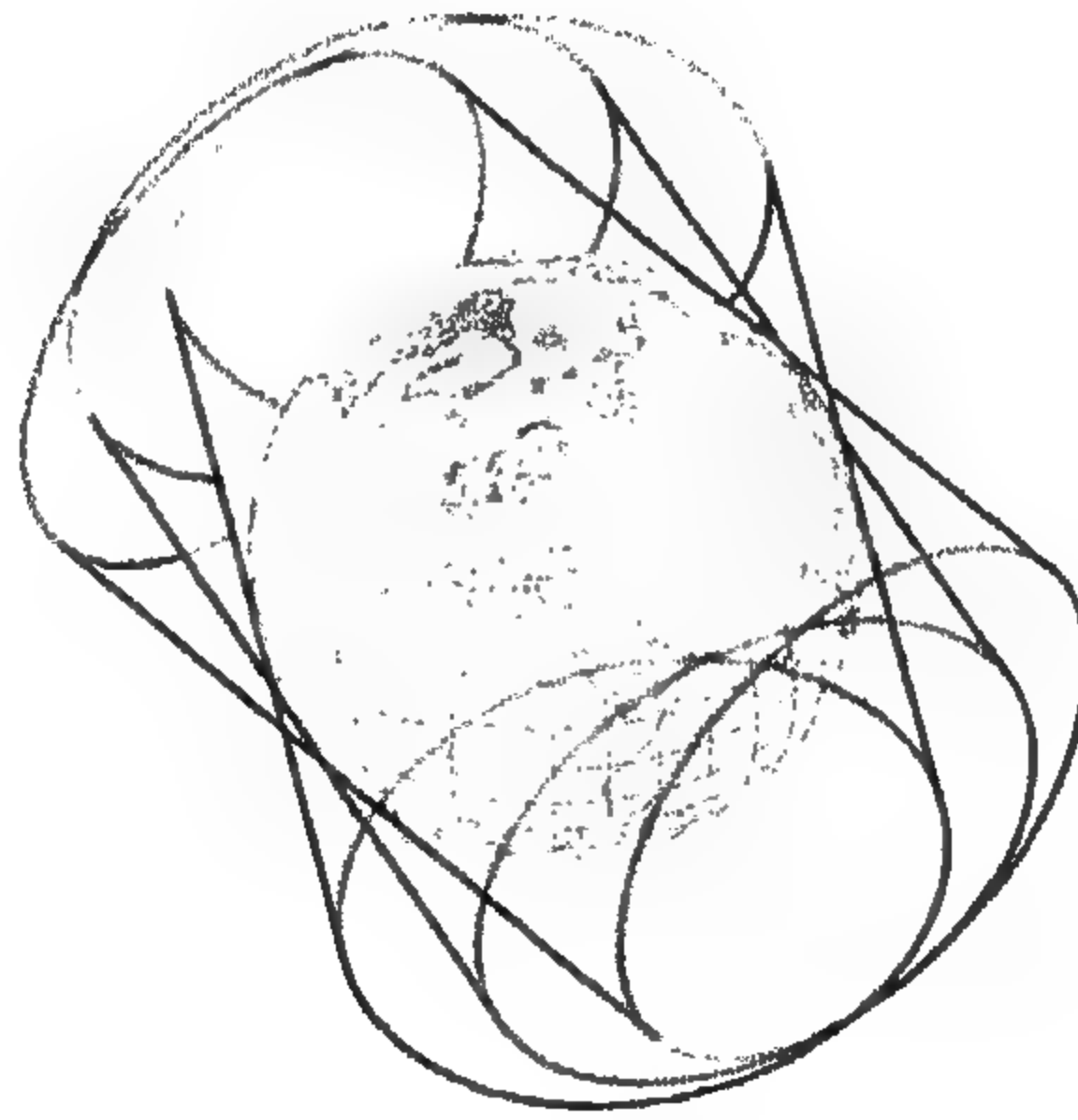
$$E = 517489.8091 m$$

$$N = 2795116.796 m$$

4.10.3.1.2. نظام إحداثيات ميركاتور المستعرض العالمي

يعد النظام المرجعي للإحداثيات المسقطة المبني على إسقاط ميركاتور المستعرض العالمي (Universal Transverse Mercator: UTM) أفضل تطبيقات إسقاط ميركاتور المستعرض.

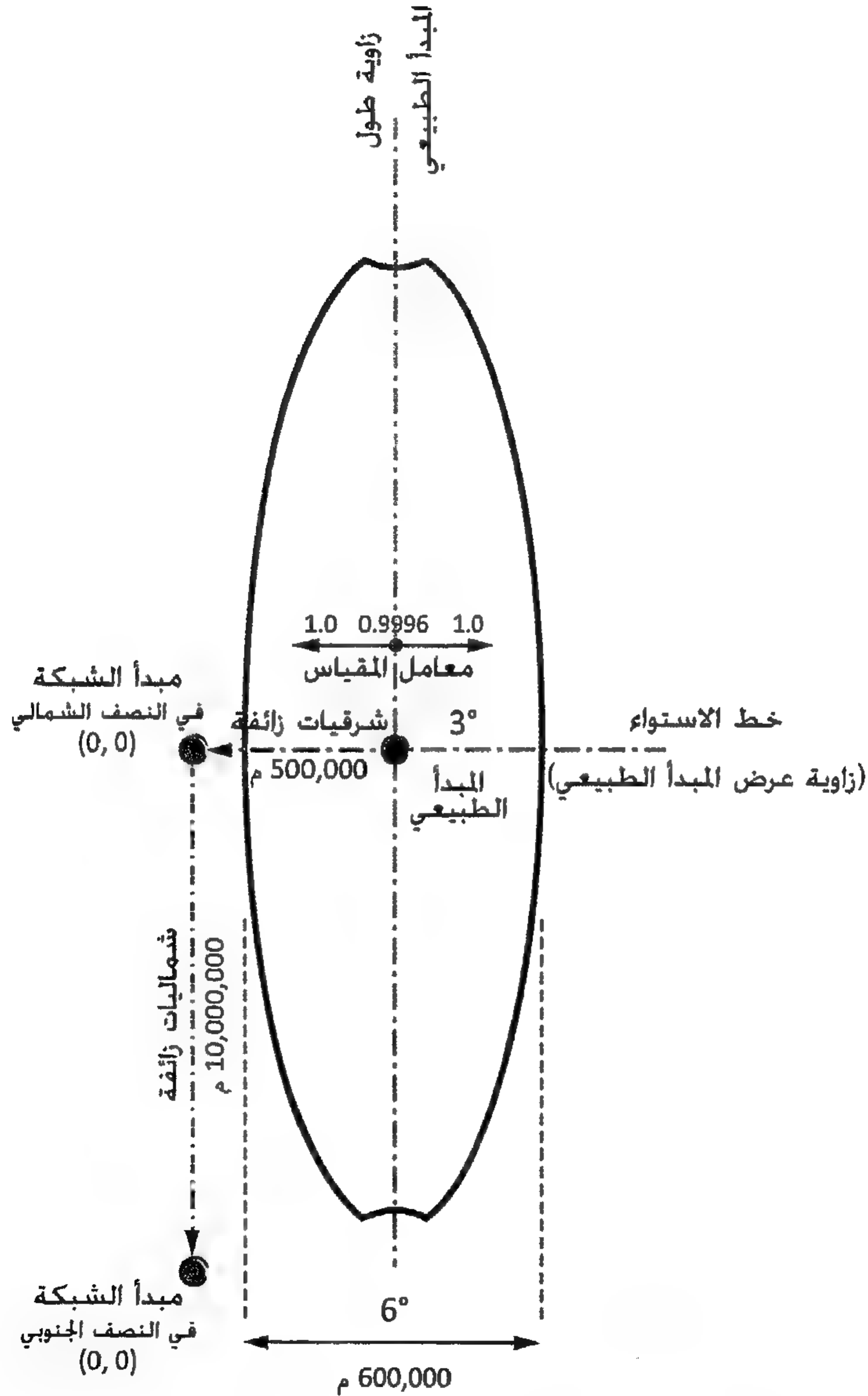
يقع محور الأسطوانة في إسقاط ميركاتور المستعرض في المستوي الاستوائي، وتمس الأسطوانة المحسم الإهليلجي في خط زوال يحدده المستخدم، يسمى خط الزوال المركزي، وينتج من ذلك منطقة (zone) يتجه شمالاً وجنوباً يمثل المنطقة التي يراد إسقاطها يتميز بحد أدنى من التشوه. فإذا تم تدوير الأسطوانة قليلاً كل مرة يمكن توليد خريطة العالم في مناطق متتالية يتميز كل منها بحد أدنى من التشوه كذلك.



الشكل 4-28 سلسلة إسقاطات ميركاتور المستعرض العالمي

يعرّف UTM شبكة تغطي العالم بين خطي العرض 84 درجة شمالاً و 80 درجة جنوباً. تنقسم الشبكة إلى 60 منطقة (zone)، يمتد كل منها 6 درجات ويمر خط الطول الرئيسي في منتصف المنطقة وتكون الشرقيات الزائفة فيه 500,000 متر. وتُحدّد المناطق باستخدام أعداد متتالية، تزداد من الغرب باتجاه الشرق، المنطقة الأولى إلى الشرق مباشرة من خط الطول 180 درجة، رقمها 1،

وتغطي 6 درجات. تمتد المنطقة 2 من الدرجة 174 غرباً إلى الدرجة 168 غرباً. تقع المنطقة 39 إلى الشرق من خط زوال غرينيتش ويمتد من الدرجة 48 شرقاً إلى الدرجة 54 شرقاً ودرجة طول الخط المركزي 51 درجة شرقاً.



الشكل 29-4 وسطاء إسقاط UTM في المناطق

يتم تقليل مقياس خط الزوال المركزي بنسبة 0.04٪، ما يسمح بتوفير خطين موازيين لخط الزوال المركزي شرقاً وغرباً يكون فيها المقياس صحيحاً، وفي خط الاستواء تكون المسافة بين خط الزوال المركزي والخط القياسي 1 درجة و 37.2 ثانية. تُسقط كل منطقة بشكل منفصل ولذلك تستخدم شبكة UTM لرسم الخرائط الطوبوغرافية على أوراق منفصلة، وليس لخرائط العالم أو لدولة، حيث يعاني هذا الإسقاط من مشكلة؛ هي أن ورقتين من منطقتين متجاورتين لا تلتئمان تمام الالتئام. ويمكن عند الضرورة إظهار نقاط من منطقة مجاورة على ألا يتجاوز بعدها عن حدود المنطقة الأساسية للخريطة أكثر من 40 كيلومتراً.

يتوفر لكل منطقة نظامان مرجعيان للإحداثيات المسقطة، الأول في نصف الكرة الشمالي، والثاني في نصف الكرة الجنوبي، وتتطابق جميع وسطاء الإسقاط في كلا النظامين، باستثناء الشماليات الزائفة التي تكون قيمتها 0 متر في النصف الشمالي، و 10,000,000 متر في النصف الجنوبي.

إحداثيات قمة فندق برج العرب بدبي $25^{\circ}8'29.205''N$ $55^{\circ}11'6.021''E$ وهي نقطة في المنطقة 40 شمالاً من UTM، إحداثياتها 317040.01 متر شرقاً و 2781841.44 شمالاً، وبالتالي يمكن كتابة إحداثياتها في UTM بطريقتين:

- رقم المنطقة مع إضافة الحرف الذي يشير إلى نصف الكرة ثم الشرقيات تليها الشماليات:

40N 317040 2781841

- رقم المنطقة ورقم النطاق العرضي (انظر 4.10.3.1.3 النظام المرجعي للشبكة العسكرية) ثم الشرقيات تليها الشماليات:

40R 317040 2781841

يتميز UTM بوسطائه الثابتة لكل منطقة في أحد نصفي الكرة الشمالي أو الجنوبي، ويستخدم النظام المرجعي UTM في جميع الدول التي يمر بها خط الطول الرئيسي للمنطقة شمالاً، ويستخدم نظيره الجنوبي في جميع الدول التي يمر بها خط الطول ذاته جنوباً.

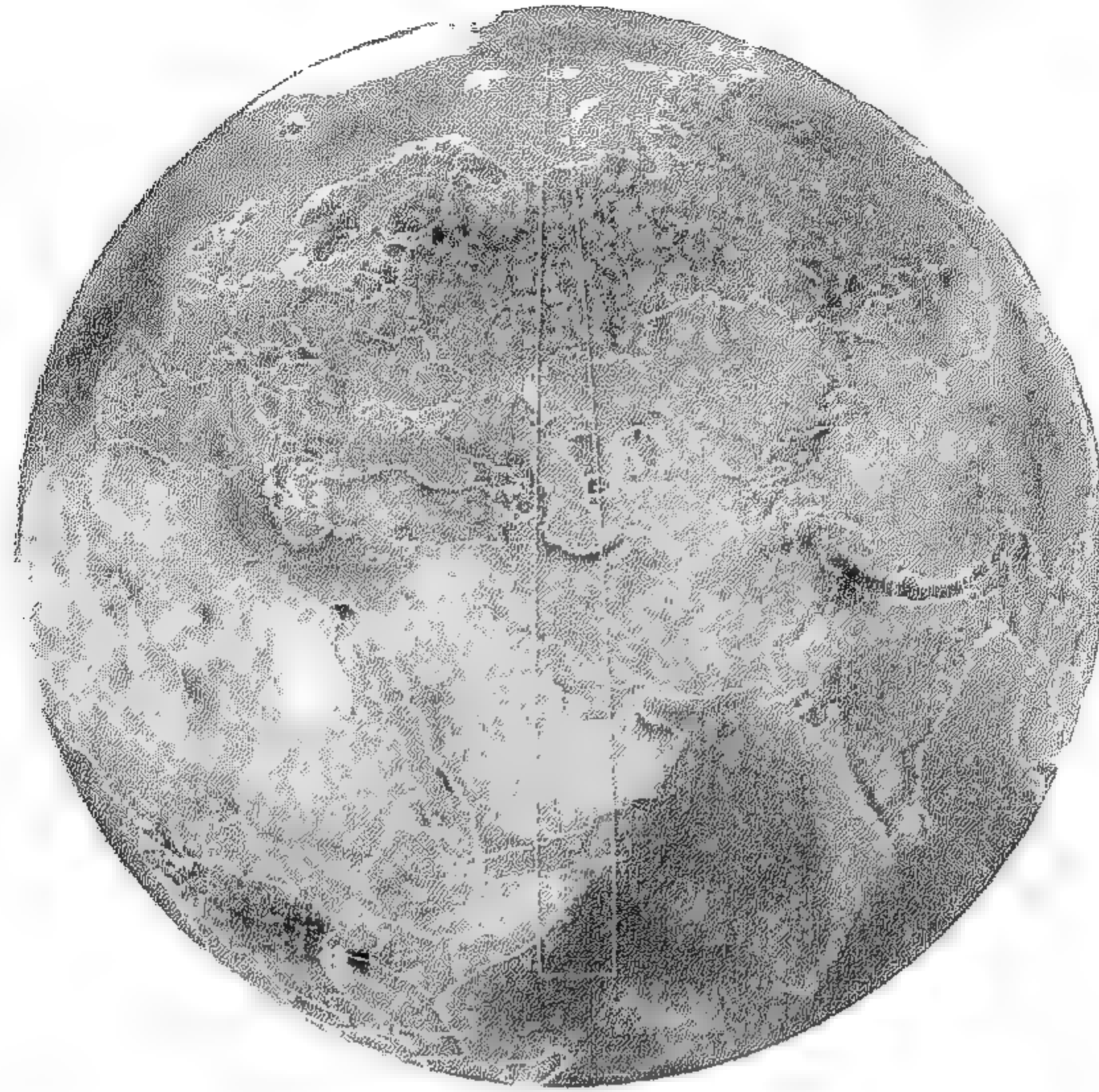
إسقاط UTM مستقل عن النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية المستخدم معه، ولا ينحصر بالنظام WGS، إذ يمكن تطبيق UTM على أي نظام مرجعي. يتوفر عدد كبير من الأنظمة المرجعية للإحداثيات المسقطة باستخدام UTM في كل منطقة شمالاً أو جنوباً، ولذلك يجب ذكر اسم النظام المرجعي مع UTM لإزالة أي التباس.

النظام المرجعي للإحداثيات المسقطة WGS 84 / UTM zone 39N مثلاً يعتمد على النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية WGS 84 ويُستخدم في النصف الشمالي من الكرة في كل من الصومال واليمن وعمان والسعودية والإمارات العربية المتحدة والبحرين وقطر وإيران والكويت والعراق وتركمنستان وأذربيجان وروسيا الاتحادية وكازاخستان. ويرمز له في قاعدة بيانات EPSG بالرمز 32639. النص المعروف (WKT) التالي يبين وسطاء هذا النظام:

```
PROJCS["WGS 84 / UTM zone 39N",
  GEOGCS["WGS 84",
    DATUM["World Geodetic System 1984",
      SPHEROID["WGS 84",6378137,298.257223563,
        AUTHORITY["EPSG","7030"]],
    AUTHORITY["EPSG","6326"]],
    PRIMEM["Greenwich",0,
      AUTHORITY["EPSG","8901"]],
    UNIT["degree",3.14159265358979,
      AUTHORITY["EPSG","9001"]],
    AUTHORITY["EPSG","4326"]],
    UNIT["metre",1,AUTHORITY["EPSG","9001"]],
    PROJECTION["Transverse Mercator"],
    PARAMETER["Latitude of natural origin", "0"],
    PARAMETER["Longitude of natural origin", "51"],
    PARAMETER["Scale factor at natural origin", "0.9996"],
    PARAMETER["False easting", "500000"],
    PARAMETER["False northing", "0"],
    AUTHORITY["EPSG","32639"],
    AXIS["Easting",east],
    AXIS["Northing",north]]
```

يعتمد هذا النظام على النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية WGS 84، ويعتمد من ناحية أخرى على إسقاط ميركاتور المستعرض.

النظير الجنوبي لهذا النظام هو WGS 84 / UTM zone 39S، ويستخدم في نصف الكرة الجنوبي، لكن خط الطول الرئيسي فيه — بالصدفة — لا يمر إلا في دولة واحدة هي جزيرة مدغشقر. يرمز لهذا النظام في قاعدة بيانات EPSG بالرمز 32739. وتتطابق جميع وسطاء الإسقاط في كلا النظامين، باستثناء الشماليات الزائفة التي تكون قيمتها 10,000,000 متر في النصف الجنوبي.



الشكل 4-30 حدود استخدام النظام WGS 84 / UTM zone 39N

وبما أن UTM هو أحد تطبيقات إسقاط ميركاتور المستعرض، فإن العلاقات المباشرة والعكسية في UTM هي ذاتها في إسقاط ميركاتور المستعرض.



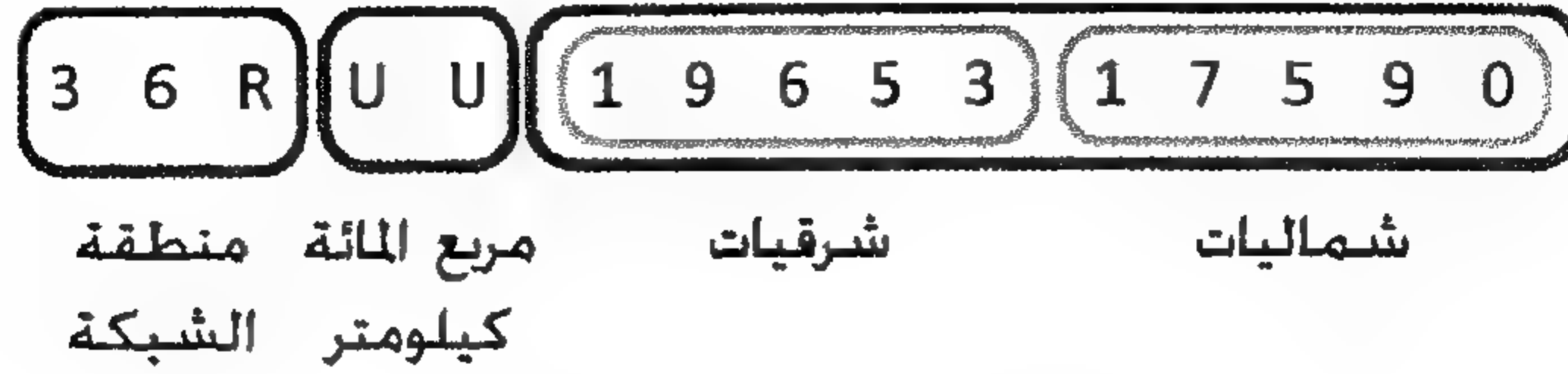
يمكن في ArcGIS إنشاء بيانات مكانية (نقاط) من جدول يتضمن إحداثيات نقاط منسوبة إلى نظام UTM (أو توليد جدول بإحداثيات UTM من نظام إحداثيات آخر) من خلال الأداة Convert Coordinate Notation في ArcToolbox:

ArcToolbox > Data Management Tools > Projections and Transformations > Convert Coordinate Notation

4.10.3.1.3 النظام المرجعي للشبكة العسكرية (MGRS)

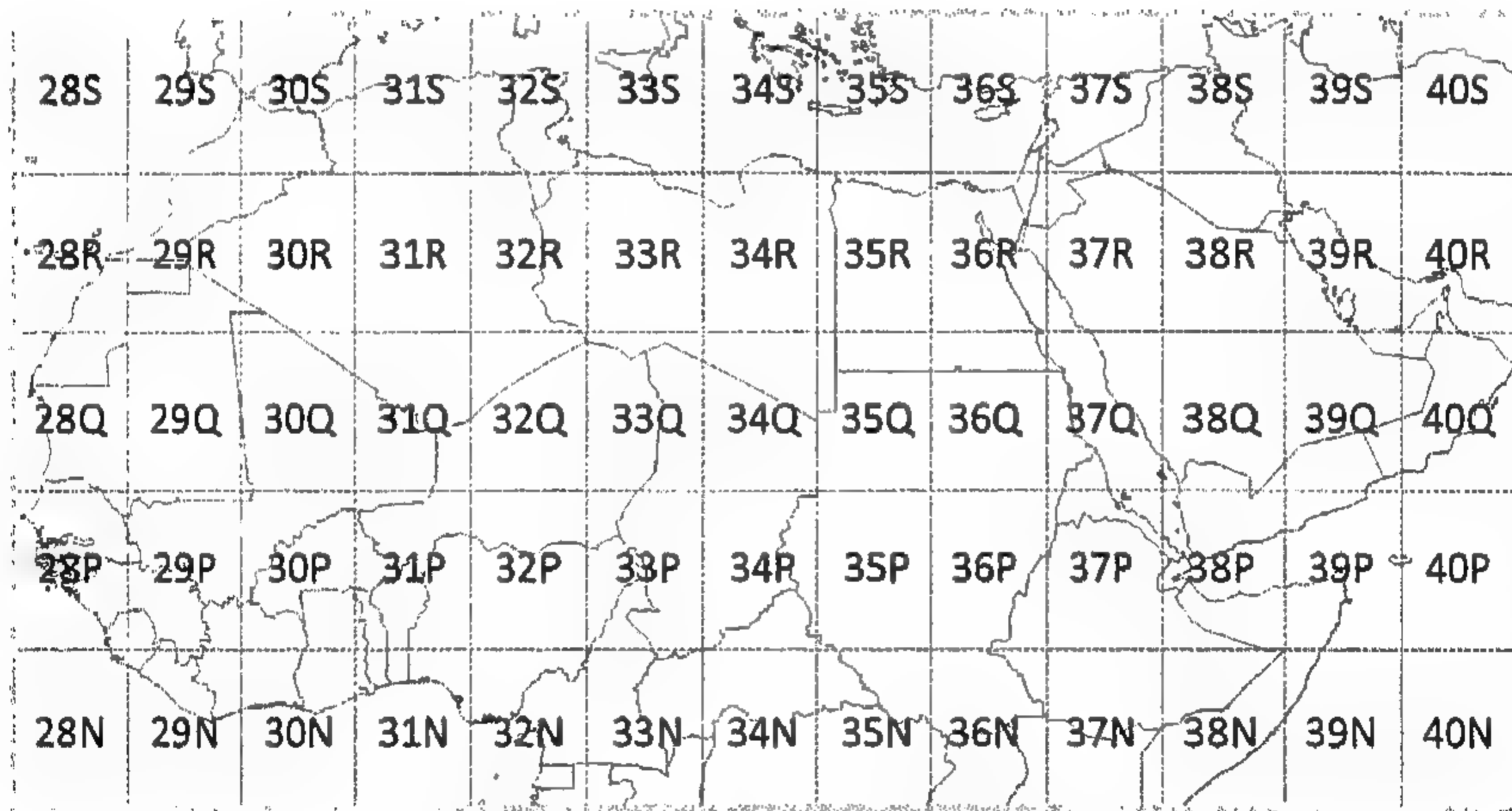
تستخدم جيوش حلف شمال الاطلسي (NATO) النظام المرجعي للشبكة العسكرية (Military Grid Reference System: MGRS) نظاماً قياسياً لتحديد مواقع النقاط على الأرض بكاملها. يعتمد MGRS بصورة رئيسية على شبكة UTM، وهو مستخدم أيضاً في الأغراض المدنية، ويتوفر في معظم برمجيات نظام المعلومات الجغرافية.

تتألف الإحداثيات في النظام المرجعي للشبكة العسكرية من ثلاثة أجزاء:



الشكل 4-31 مكونات MGRS

- منطقة الشبكة (grid zone): تم تقسيم المناطق في UTM إلى 20 نطاقاً عرضياً (latitude band) بحيث يقطع كل نطاق جميع مناطق UTM الستين عرضاً، تسمى النطاقات بحروف تبدأ من C جنوباً إلى X شمالاً، ولا يستخدم الحرفان I و O منعاً للالتباس.



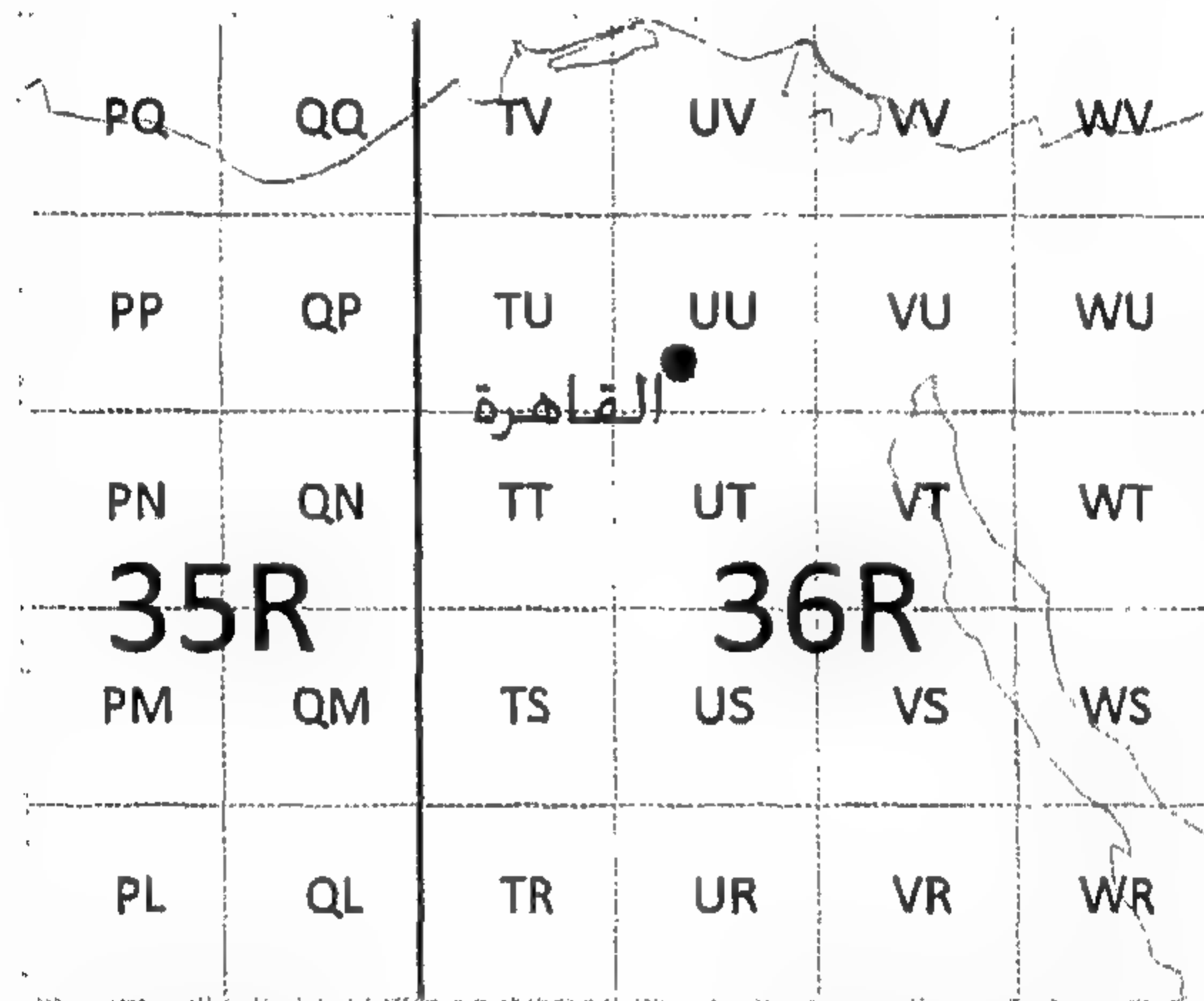
الشكل 4-32 مناطق الشبكة في MGRS

يمتد كل نطاق عرضي 8 درجات، بينما يمتد النطاق العرض X على 12 درجة. يسمح هذا التقسيم بإيجاد مناطق شبكة أبعادها $6^\circ \times 8^\circ$ ، يتكون اسم كل واحدة منها من رقم منطقة UTM وحرف النطاق العرضي، مثل منطقة الشبكة 36R التي تغطي جزءاً من مصر، حيث 36 رقم منطقة UTM التي تمتد بين خطي الطول 30° و 36° شرقاً و R الحرف الذي يدل على النطاق العرضي الذي يمتد بين خطي العرض 24° و 32° شمالاً.

- مربعات المائة كيلومتر (100,000-meter square): بغض النظر عن مناطق الشبكة، تُقسم مناطق UTM إلى مربعات أبعاد كل منها 100,000 متر بحيث يكون لزواياها

إحداثيات UTM صحيحة من مضاعفات 100,000 متر أيضاً. ويتألف اسم المربع من حرف يدل على العمود (من A إلى Z ولا يستخدم الحرفان I وO) متبوعاً بحرف يدل على السطر (من A إلى V ولا يستخدم الحرفان I وO).

تختلف طريقة ترقيم سطور MGRS حسب المرجع الجيوديسي، ففي المراجع الحديثة مثل WGS 84 يكون الحرف الدال على السطر الأول إلى الشمال تماماً من خط الاستواء هو A في مناطق UTM ذات الرقم المفرد و F في مناطق UTM ذات الرقم المزدوج. تقع مدينة القاهرة في مصر في مربع UU ضمن منطقة الشبكة 36R، وبالتالي يمكن التعبير عن إحداثيات أهرامات الجيزة في القاهرة في MGRS بـ 36RUU وذلك في مستوى من الدقة يصل إلى مائة كيلومتر فقط.

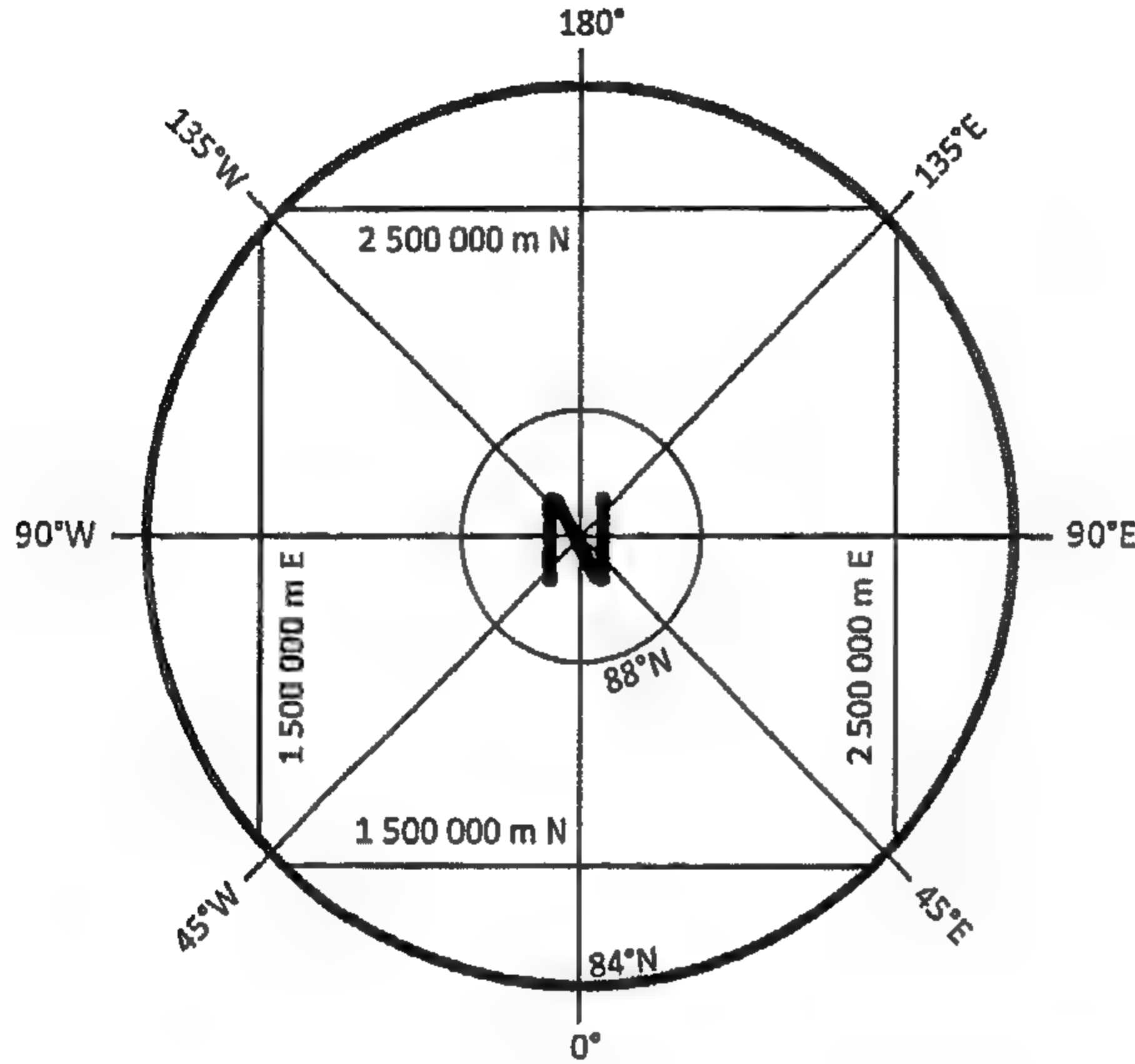


الشكل 4-33 مربعات المائة كيلومتر في MGRS

- الجزء الثالث من نظام إحداثيات MGRS هو الموقع العددي (numerical location) الذي يشير إلى موقع النقطة ضمن مربع المائة كيلومتر ويكون في الحد الأقصى من 10 أرقام، وتصل دقة الإحداثيات إلى 1 متر. تشير خمسة الأرقام الأولى إلى الشرقيات (easting) مقيسة من الضلع الأيسر للمربع، وتشير خمسة الأرقام الثانية إلى الشماليات (northing) مقيسة من الضلع الأسفل للمربع. عندما تكون دقة الإحداثيات عشرة أمتار يكون الموقع العددي في نظام MGRS مؤلفاً من 8 أرقام، وهكذا.

في MGRS يتم تغطية المناطق الواقعة خارج شبكة UTM بشبكة نظام الإحداثيات المجسّم القطبي العالمي (Universal Polar Stereographic: UPS)، وكما في UTM، يستخدم UPS

شبكة ديكارتية مترية على سطح إسقاط مطابق باستخدام الإسقاط المجسم القطبي. يغطي UPS المنطقة القطبية الشمالية إلى الدرجة 84 شمالاً والمنطقة القطبية الجنوبية إلى الدرجة 80 جنوباً وهي المنطقتان خارج نطاق تغطية شبكة UTM، ويتداخل معها بمقدار 30 دقيقة لتوفير منطقة مشتركة بين النظامين.



الشكل 4-34 شبكة UPS في القطب الشمالي

مشروع:

يراد إيجاد إحداثيات MGRS لأهرام خفرع (Pyramid of Khafre) في الجيزة في القاهرة بدقة متر واحد، علماً بأن إحداثيات قمة الهرم في UTM هي 36N 319653 3317590.

الحل:

حسب الخرائط السابقة، يقع هرم خفرع في منطقة الشبكة 36R وفي مربع المائة كيلومتر UU، وبالتالي يمكن كتابة إحداثيات قمة الهرم في نظام MGRS بدقة متر كما يلي:

36RUU1965317590

يمكن كتابة هذه الإحداثيات في دقة عشرة أمتار ومائة متر و 1 كلم و 10 كلم ومائة كلم ودقة 6° × 8° كما يلي:

36RUU19651759

36RUU196175

36RUU1917

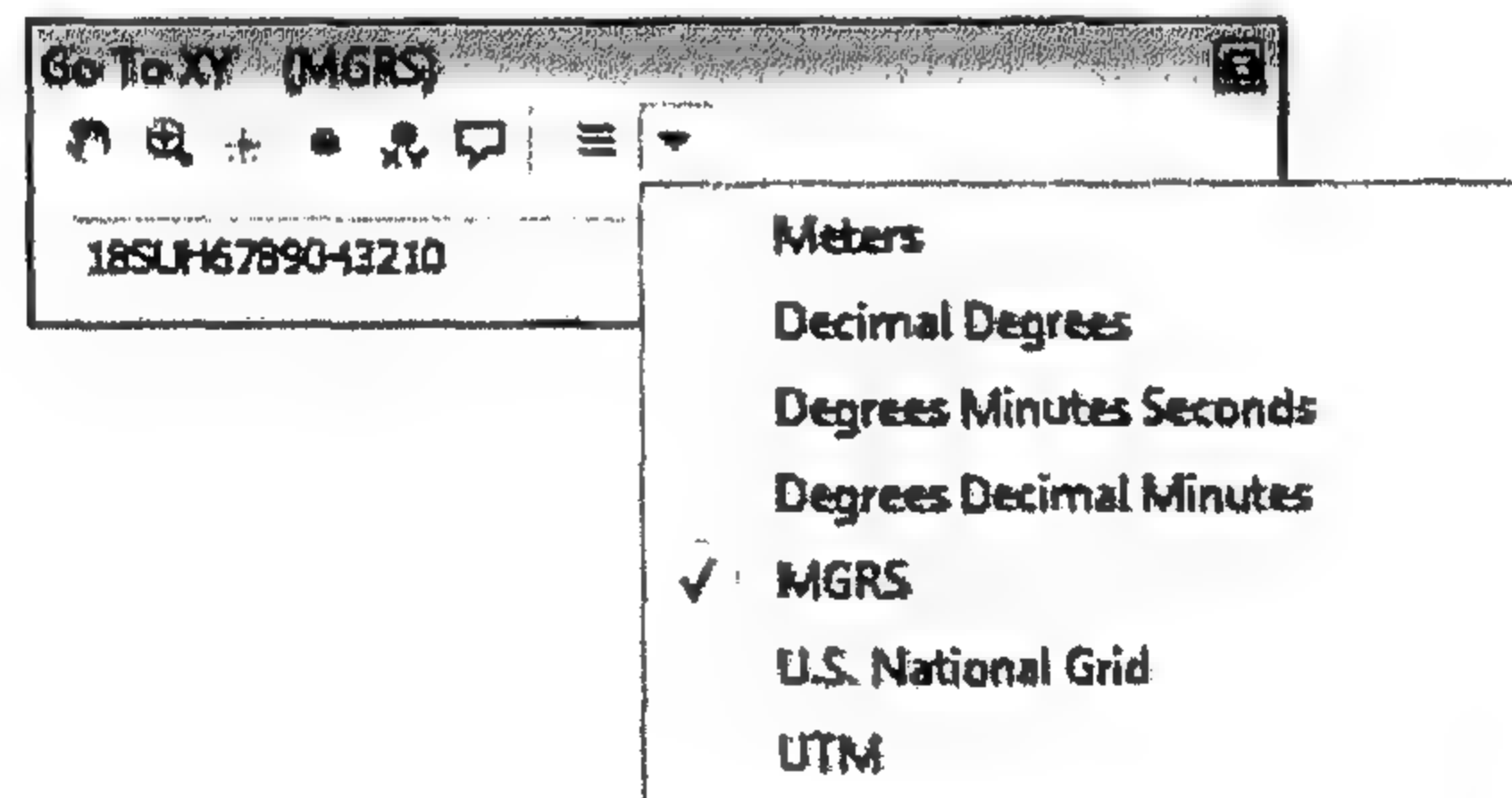
36RUU11

36RUU

36R



جميع الأدوات في ArcGIS تدعم استخدام نظام MGRS بطريقة مشابهة لأنواع الإحداثيات الأخرى. مثل عرض إحداثيات MGRS في شريط الحالة (status bar)، أو استخدام إحداثيات MGRS في أي أداة أو أداة معالجة جغرافية (geoprocessing tool) تتطلب إدخالاً من المستخدم. يمكن مثلاً الانتقال إلى إحداثيات نقطة في صيغة MGRS من خلال الأداة Go To XY في شريط الأدوات Tools وذلك بعد انتقاء MGRS من القائمة المنسدلة Units:



الشكل 4-35 استخدام نظام MGRS في أداة Go To XY في ArcGIS



يمكن في ArcGIS إنشاء طبقة بيانات مكانية (نقاط) من جدول يتضمن إحداثيات نقاط منسوبة إلى نظام MGRS (أو توليد جدول بإحداثيات MGRS من نظام إحداثيات آخر) من خلال الأداة Convert Coordinate Notation في ArcToolbox:

ArcToolbox > Data Management Tools > Projections and Transformations > Convert Coordinate Notation

ORACLE
SPATIAL

يمكن تغيير الإحداثيات في Oracle Spatial بين MGRS وأي نظام مرجعي آخر باستخدام البرنامجين الفرعيين to_USNG و from_USNG في حزمة SDO_CS.

المثال التالي يقوم بتغيير الإحداثيات الجغرافية (بالدرجة العشرية) للنقطة السابقة من WGS 84 إلى MGRS:

```
SQL> SELECT sdo_cs.to_USNG (SDO_GEOMETRY(2001, 4326, SDO_POINT_TYPE
(31.1307235, 29.9759442, NULL), NULL, NULL), 1) from DUAL;
```

```
36RUU1965317590
```

المثال التالي يقوم بتغيير إحداثيات النقطة السابقة من MGRS إلى WGS 84:

```
SQL> SELECT sdo_cs.from_USNG ('36RUU1965317590', 4326) "WGS84" from dual;
```

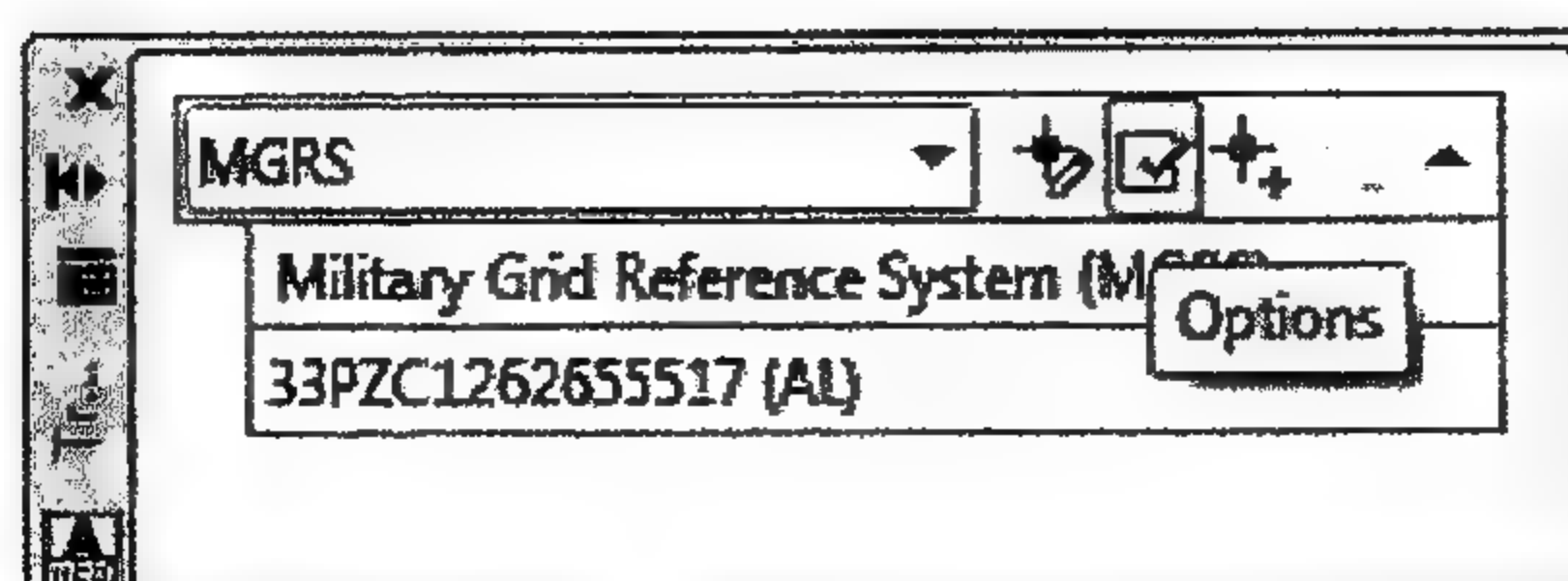
```
SDO_GEOMETRY(2001, 4326, SDO_POINT_TYPE(31.1307235, 29.9759442, NULL), NULL,
NUL
```

AutoCAD®
Map 3D

يمكن استخدام MGRS في أوتوكاد لعرض الإحداثيات أو إدخالها في الدقة المطلوبة من خلال أداة تعقب البيانات باستخدام أداة تعقب الإحداثيات (Coordinate Track) التي يمكن الوصول إليها من:

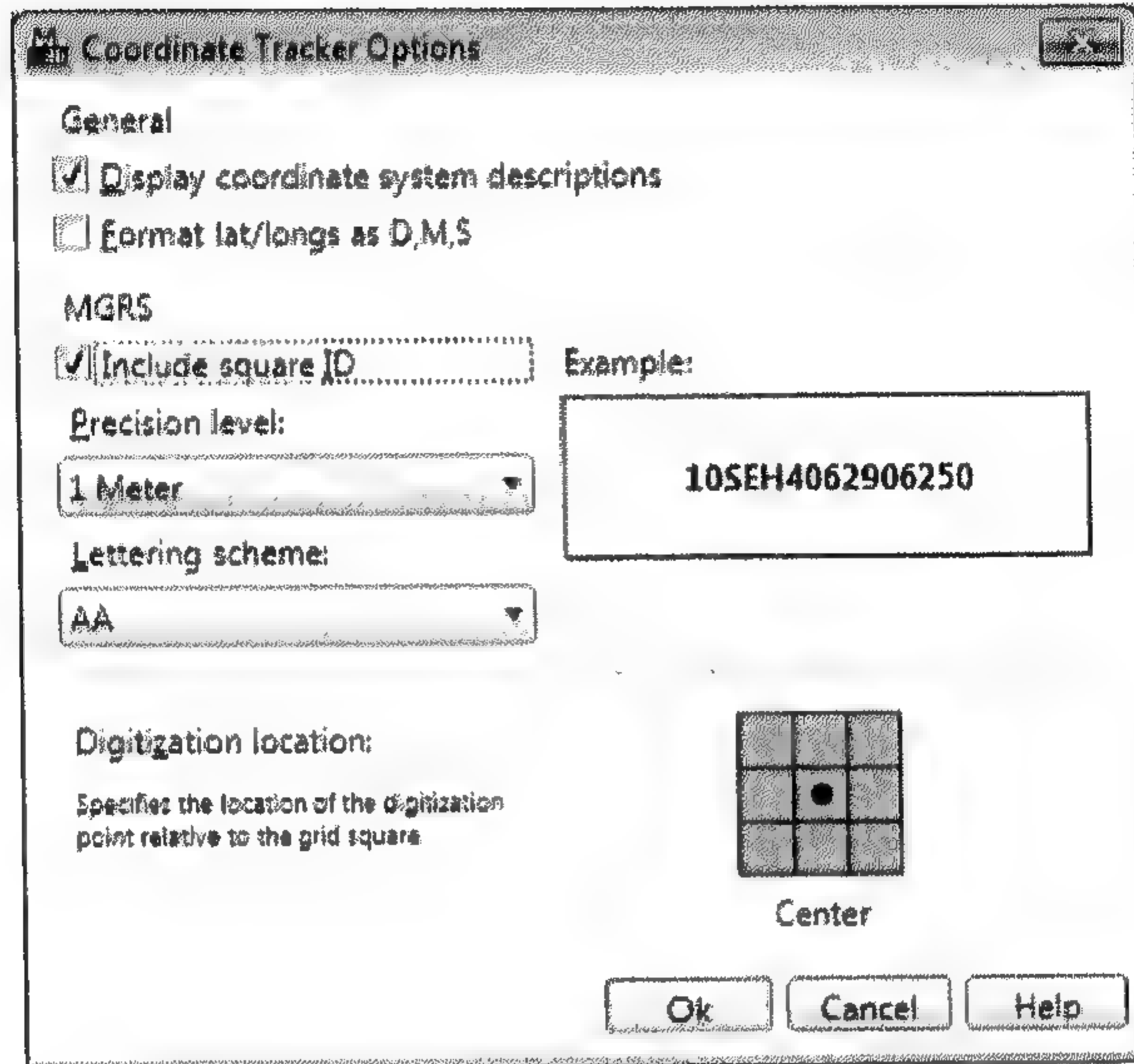
Ribbon: Analyze > Geo Tools > Coordinate Track

يمكن التحول إلى MGRS من خيارات أداة التعقب:



الشكل 4-36 خيارات أداة تعقب البيانات في AutoCAD Map 3D

وعند استخدام MGRS لإنشاء البيانات يمكن تحديد الموقع الذي يبدأ فيه إنشاء هذه البيانات؛ في مركز مربع الشبكة أو أحد زواياه الأربع:



الشكل 4-37 صندوق حوار خيارات تعقب الإحداثيات



يتوفر في FME مجموعة من المحوِّلات (transformers) التي تدعم العمليات ذات الصلة بنظام MGRS. يبين الجدول التالي هذه المحوِّلات:

المحوِّل	الشرح
LatLongToMGRSConverter	يحسب رمز MGRS بناءً على قيم زاويتي العرض والطول الموجودة في جدول سمات المعالم (feature's attributes) أو في نص يدخله المستخدم، ويقوم بتخزين النتيجة في الجدول في حقل يحدده المستخدم.
MGRSGeometryExtractor	يحسب رمز MGRS بناءً على هندسة المعالم (feature's geometry). إذا لم تكن المعالم نقاطاً، يقوم بحساب رمز MGRS لأول نقطة من هندسة المعالم. يقوم هذا المحوِّل بتخزين النتيجة في الجدول في حقل يحدده المستخدم.

MGRSGeometryReplacer يحول رمز MGRS الموجود في جدول سمات المعالم أو في نص يدخله المستخدم إلى إحداثيات زاويتي العرض والطول. يتم استبدال هندسة المعالم بنقاط يتم إنشاؤها في موقع تلك الإحداثيات.

MGRSToLatLongConverter يحول رمز MGRS الموجود في جدول سمات المعالم أو في نص يدخله المستخدم إلى إحداثيات زاويتي العرض والطول. يقوم هذا المحول بتخزين النتيجة في الجدول في حقل يحدده المستخدم.

الجدول 4-4 محولات FME ذات الصلة بنظام MGRS

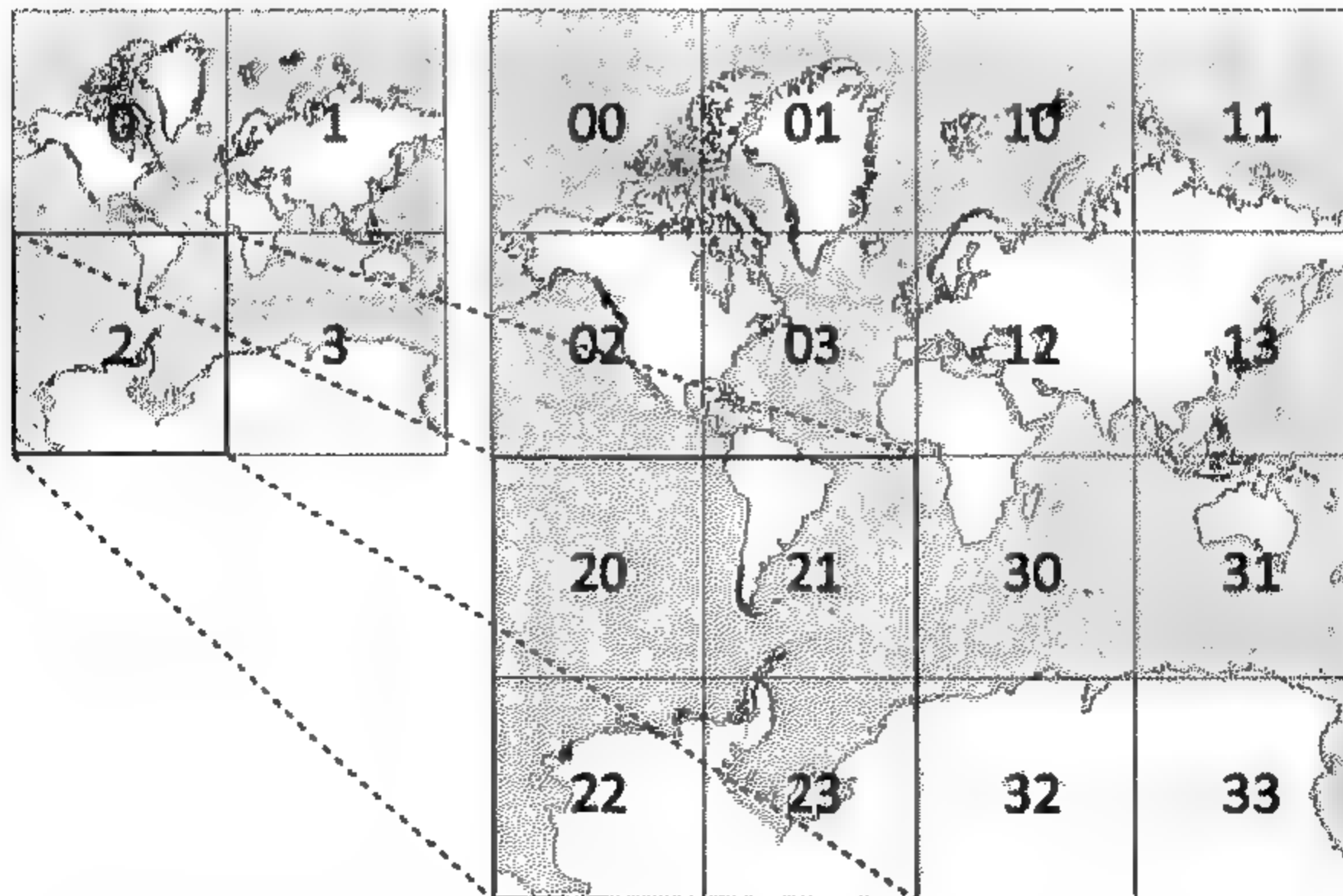


لعرض إحداثيات MGRS في Google Earth بدلاً من زوايا العرض والطول، اختر:

Tools > Options > 3D View > Show Lat/Long > Military Grid Reference System

4.10.3.1.4 إسقاط ويب ميركاتور

توفر خرائط ويب مثل Google Maps و Microsoft Bing و ArcGIS Online خريطة موحدة للعالم تسمح للمستخدم بالتجوال (pan) والتقريب/التباعد (zoom) فيها مباشرة. ولجعل أداء هذه الخدمات سريعاً يتم معالجة الخرائط سلفاً بتجزئتها (map tiling) إلى قطع مربعة (tiles) في كل مستوى من مستويات التقريب/التباعد. يسمح هذا الأسلوب أيضاً بتوفير البيانات من جهات مختلفة، هي الشركات المزودة لصور الأقمار الاصطناعية والخرائط، بحيث تلتئم أطراف المعالم الممتدة بين القطع المختلفة عندما يكون ما يشاهده المستخدم بيانات قادمة من مصادر مختلفة.



الشكل 4-38 نظام تجزئة الخرائط في إسقاط ويب ميركاتور

يستخدم نظام تجزئة الخرائط هذا إسقاطاً معدلاً عن إسقاط ميركاتور يسمى ويب ميركاتور (Web Mercator)، وهو إسقاط تحليلي يقوم على إسقاط خريطة العالم بحيث تكون حدودها قطعة مربعة في مستوى التفصيل الأول، وذلك لكي يتسنى تجزئتها إلى أربعة قطع مربعة متساوية في مستوى التفصيل الثاني، وهكذا تتجزأ كل قطعة في أي مستوى إلى أربعة قطع مربعة متساوية في مستوى التفصيل الذي يليه. ولأن إسقاط ميركاتور يتسبب بتشويه حجم وشكل المعالم الكبيرة مع زيادة المقياس من خط الاستواء باتجاه القطبين، حيث يصبح المقياس لا نهاية له في القطبين، تم تحديد إسقاط ويب ميركاتور بحيث يتوقف بين خطي العرض 80.05 شمالاً وجنوباً، مع المحافظة في ذات الوقت على نسبة بين عرض وارتفاع الخريطة تساوي 1:1.

لتبسيط العمليات الحسابية يستخدم هذا الإسقاط التقريب الثاني أي الكرة ذات القطر 6378137 متر، وليس المحسّم الإهليلجي، لأنه يستخدم لعرض الخريطة فقط، وليس لعرض الإحداثيات، ولعدم وجود حاجة إلى الدقة الإضافية التي يوفرها الإسقاط المبني على المحسّم الإهليلجي. يتسبب الإسقاط الكروي هذا بتشوه المقياس بنسبة 0.33% في الاتجاه Y، وهي نسبة لا يمكن ملاحظتها.

بالإضافة إلى الإسقاط، يجب تحديد الوضوح الأرضي (ground resolution) أو مقياس الخريطة. في المستوى 1؛ أدنى مستويات التفصيل، بحيث تكون أبعاد الخريطة 512 x 512 بكسل. يتضاعف عرض وارتفاع الخريطة في كل مستوى من مستويات التفصيل المتعاقبة، في المستوى 2 تكون الأبعاد 1024 x 1024 بكسل، وهكذا. ويمكن حساب عرض وارتفاع الخريطة بالبكسل في أي مستوى على النحو التالي:

$$\text{Map Width} = \text{Map Height} = 256 \times 2^{\text{level}} \text{ pixel}$$

يبين الوضوح الأرضي المسافة الحقيقية على الأرض التي يمثلها بكسل واحد في الخريطة. على سبيل المثال، يمثل كل بكسل مسافة 10 أمتار في الواقع عندما يكون الوضوح الأرضي 10 متر / بكسل. يختلف الوضوح الأرضي حسب مستوى التفصيل وخط العرض الذي يقاس عنده. باستخدام نصف قطر الأرض 6378137 متر يمكن حساب الوضوح الأرضي بالمتر لكل بكسل في أي مستوى كما يلي:

$$\text{Ground Resolution} = \frac{\cos\left(\varphi \times \frac{\pi}{180}\right) \times 2 \times \pi \times 6378137}{256 \times 2^{\text{level}}}$$

يختلف مقياس الخريطة، مثل الوضوح الأرضي، مع اختلاف مستوى التفصيل وخط العرض. ويمكن حساب مقياس الخريطة من الوضوح الأرضي، بفرض وضوح الشاشة 96 نقطة في البوصة (dot per inch: dpi):

$$\text{Map Scale} = 1 : \frac{\cos\left(\varphi \times \frac{\pi}{180}\right) \times 2 \times \pi \times 6378137 \times 96}{256 \times 2^{\text{level}} \times 0.0254}$$

يوضح الجدول التالي عرض وارتفاع الخريطة والوضوح الأرضي ومقياس الخريطة مقيسة عند خط الاستواء ($\varphi=0$):

مستوى التفصيل	عرض وارتفاع الخريطة (بكسل)	الوضوح الأرضي (متر/بكسل)	مقياس الخريطة (عند 96 dpi)
1	512	78,271.5170	1 : 295,829,355.45
2	1,024	39,135.7585	1 : 147,914,677.73
3	2,048	19,567.8792	1 : 73,957,338.86

الخ

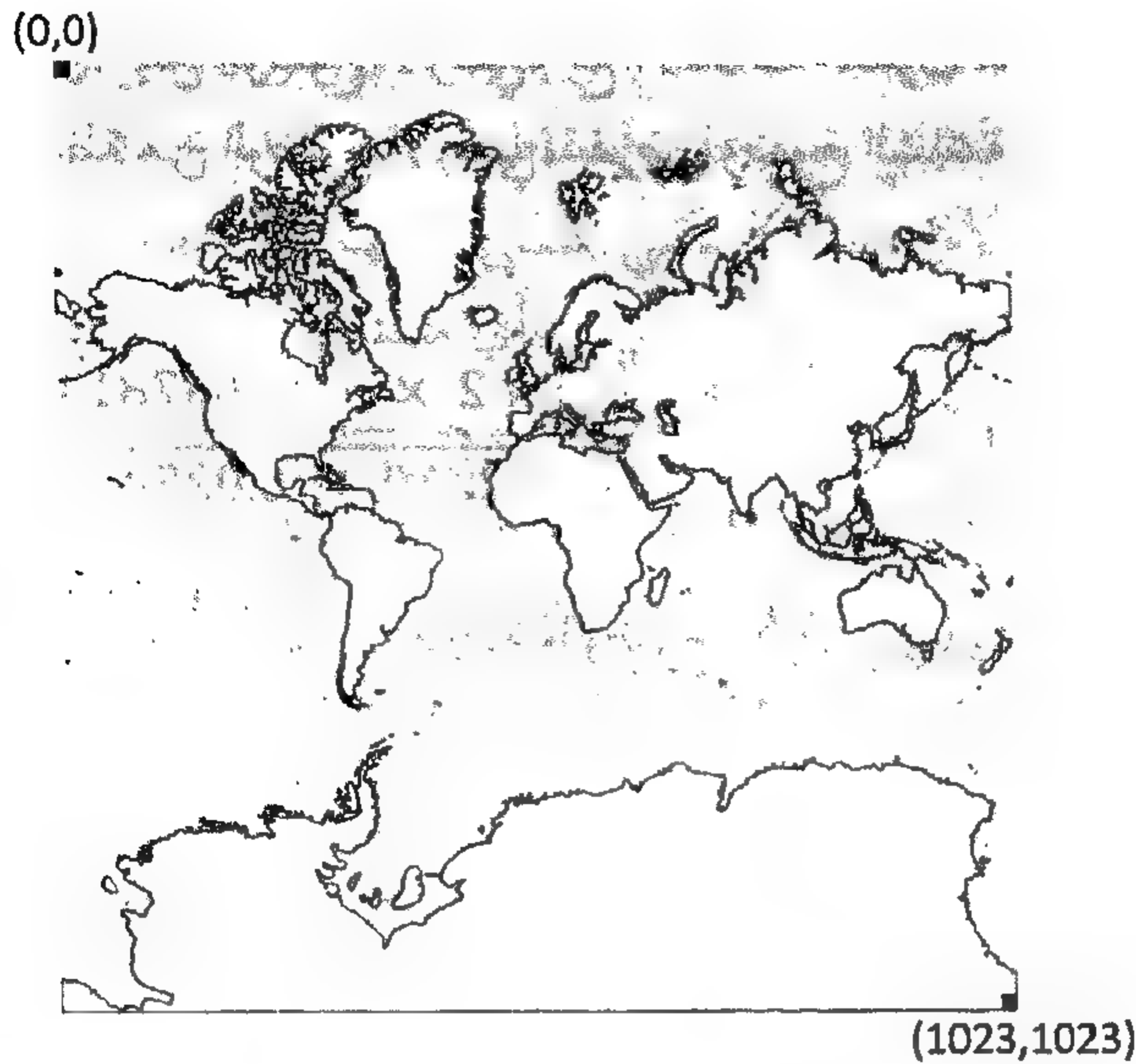
الجدول 5-4 قيم إسقاط Web Mercator في مستويات تفصيل مختلفة

يمكن معرفة إحداثيات الصورة في نظام تجزئة الخرائط لأي نقطة (λ, φ) وفي أي مستوى من مستويات التفاصيل كما يلي:

$$X = \left(\frac{\lambda + 180}{360} \right) \times 256 \times 2^{\text{level}}$$

$$Y = \left(0.5 - \frac{\ln\left(\frac{1 + \sin\left(\varphi \times \frac{\pi}{180}\right)}{1 - \sin\left(\varphi \times \frac{\pi}{180}\right)}\right)}{4\pi} \right) \times 256 \times 2^{\text{level}}$$

حيث \ln اللوغاريتم الطبيعي أو النبري. يبين الشكل التالي إحداثيات الصورة بالبكسل في المستوى 2:



الشكل 4-39 إحداثيات الصورة بالبكسل

ومن أجل كفاءة الأداء، يتم تجزئة الصور في كل مستوى بحيث تكون أبعاد القطعة الواحدة 256 بكسلاً دائماً، وتأخذ القطع المربعة نظام ترقيم خاص في كل من هذه المستويات. يمكن إذاً الحصول على رقم القطعة التي تتضمن إحداثيات النقطة في أي مستوى يرغب به المستخدم.

مشروع:

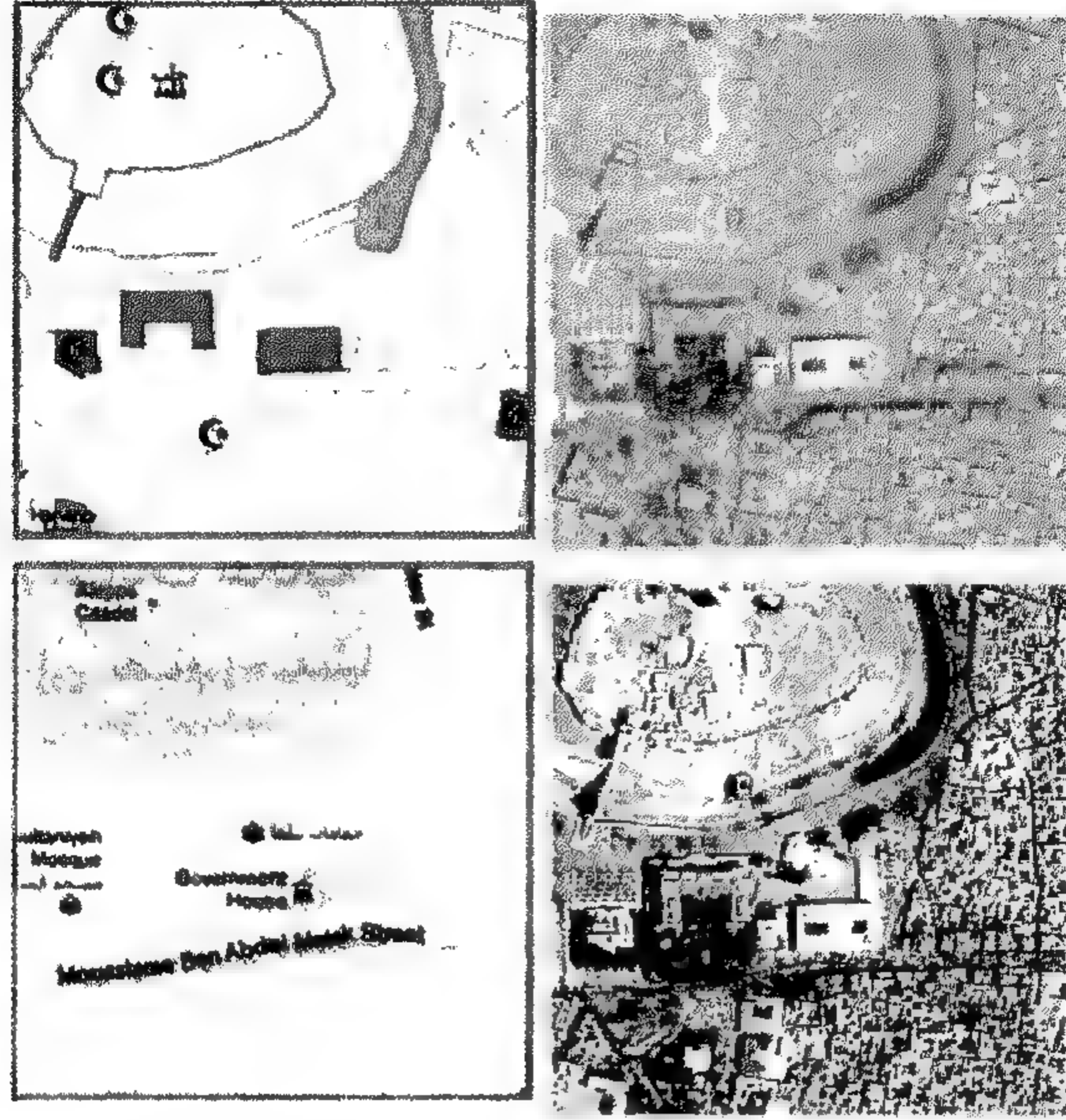
أوجد الرابط المباشر لتنزيل الصورة الجوية أو صورة الأقمار الاصطناعية لقلعة حلب في مستوى التفصيل 16 في كل من OpenStreetMap و Google Maps. علماً بأن إحداثيات مركز قلعة حلب:

$$\varphi = 36.1992798$$

$$\lambda = 37.1630135$$

الحل:

من الإحداثيات المعطاة نستنتج أن رقم القطعة في مستوى التفصيل 16 لدى Google و ArcGIS Online و OpenStreetMap هو العمود 39533 والصف 25690، أو القطعة رقم 12211210031231210 في نظام تجزئة الصور في Bing، وبالتالي يمكن تنزيل الصورة من رابط مباشر حسب نظام الروابط المعتمد في كل خدمة.



الشكل 4-40 القطعة من الخريطة ذاتها في أربع من خدمات الخرائط

يبين الشكل أعلاه قطعة الخريطة في أربعة من خدمات الخرائط، Bing أعلى اليمين، OpenStreetMap أعلى اليسار، ArcGIS Online أدنى اليمين، و Google Maps أدنى اليسار. وتوضح الأمثلة التالية نظام الروابط في OpenStreetMap و Google Maps و ArcGIS Online:

<http://c.tile.openstreetmap.org/16/39533/25690.png>

<http://mt0.google.com/vt/lyrs=m@169000000&hl=en&x=39533&y=25690&z=16&s=Ga>

http://services.arcgisonline.com/ArcGIS/rest/services/World_Imagery/MapServer/tile/16/25690/39533

4.11. الإسقاط في برامج نظام المعلومات الجغرافية

يتوفر في معظم برامج نظام المعلومات الجغرافية ونظام تحديد المواقع العالمي والمساحة مكتبة مبنية من الأنظمة المرجعية للإحداثيات المسقطة العالمية والمحلية، وتقوم الشركات المطورة للبرمجيات بتضمين قاعدة البيانات هذه في برمجياتهم، كما تواظب على تحديثها مع إضافة أية أنظمة جديدة في قاعدة بيانات EPSG.

ومن المهم ملاحظة وجود أنظمة متقاربة وبأسماء مختلفة حيث تكون هذه الأنظمة أنواعاً محلية من إسقاط عالمي، فهي تحمل ذات الاسم مع لواحق مختلفة، ويعكس ذلك الفرق بين قيم الوسطاء التي تختارها كل دولة.

يعني إعداد بيئة العمل في ArcGIS و AutoCAD Map 3D إنشاء ملف خريطة (map file) جديد، وتعيين أحد الأنظمة المرجعية للإحداثيات المسقطة ليكون النظام المرجعي لملف الخريطة.

بعد ذلك يمكن إضافة البيانات المكانية من مصادر مختلفة وسيقوم ArcGIS و AutoCAD Map 3D بتحويلها تلقائياً إلى نظام إحداثيات ملف الخريطة باستخدام معادلات الإسقاط بحيث تتراكم بصورة صحيحة.

لاحظ أنه لا تُدخل أية تعديلات على إحداثيات البيانات الأصلية، لأن ArcGIS و AutoCAD Map يقومان بذلك لحظياً (on the fly) لأغراض العرض فقط.

بالإضافة إلى ذلك، يعني إعداد بيئة العمل أن قيم الإحداثيات التي يدخلها المستخدم أثناء إنشاء بيانات مكانية جديدة في ملف الخريطة يتم توقييعها حسب هذا النظام.

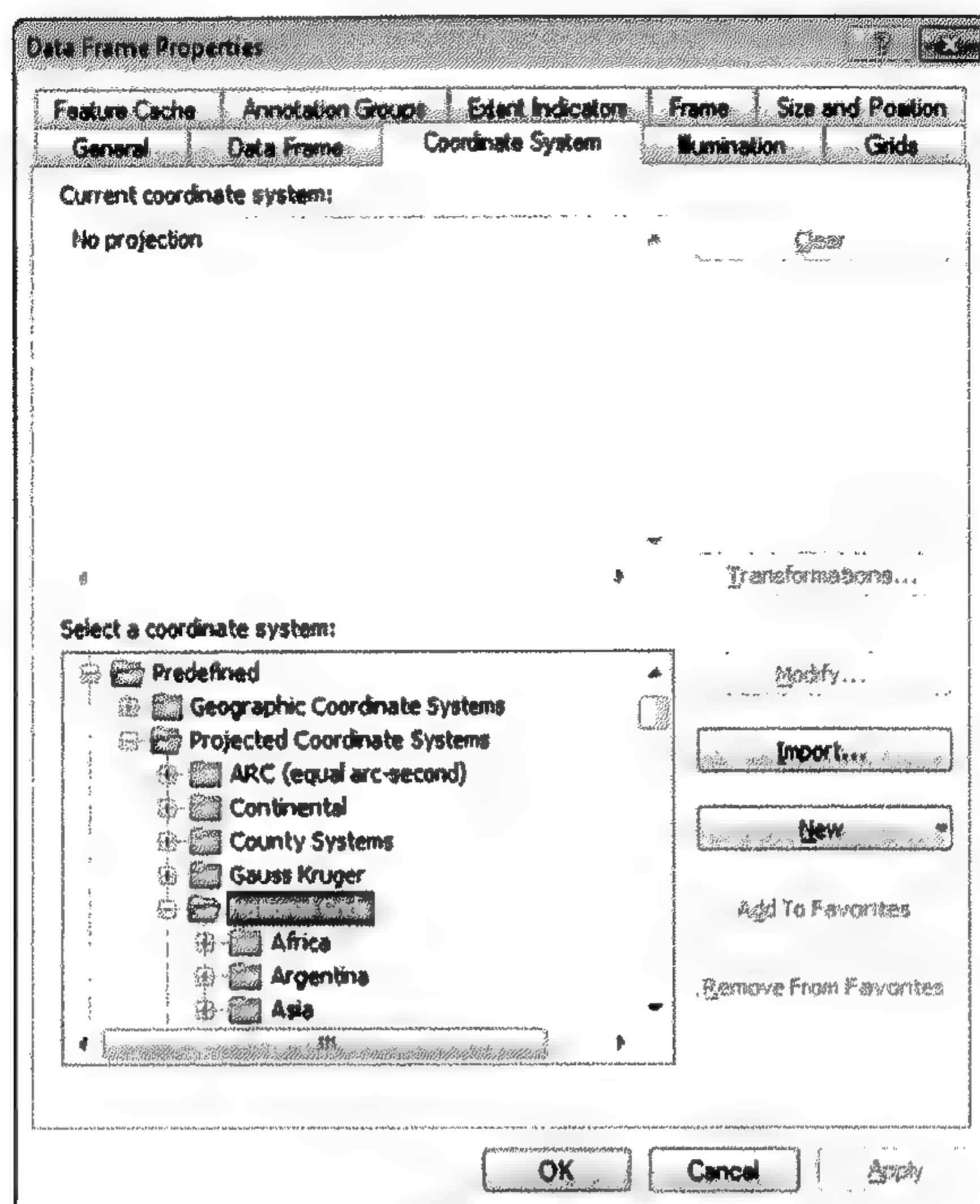
يمكن تعيين نظام مرجعي للإحداثيات المسقطة لملف الخريطة بطريقة أخرى وذلك باستيراد بيانات مكانية تتضمن نظاماً مرجعياً للإحداثيات المسقطة. بعد استيراد هذه البيانات المكانية يقوم ArcGIS و AutoCAD Map 3D بتعيين ذات النظام المرجعي لإحداثياتها إلى ملف الخريطة تلقائياً.

إذا لم يكن النظام المرجعي للإحداثيات المسقطة متوفراً في مكتبة البرنامج، يمكن للمستخدم أيضاً إنشاء نظام مرجعي جديد للإحداثيات المسقطة في البرنامج الذي يستخدمه في الحالات التي تتطلب ذلك، وهي حالات نادرة جداً.

4.11.1. انتقاء نظام مرجعي للإحداثيات المسقطة



لإعداد بيئة العمل في ArcGIS يمكن انتقاء النظام المرجعي للإحداثيات المسقطة من خلال مربع حوار خصائص إطار البيانات:



الشكل 41-4 صندوق حوار خصائص إطار البيانات في ArcGIS

View > Data Frame Properties... > Coordinate System

في القسم Select a coordinate system انتق Predefined ثم Projected Coordinate Systems، ثم انتقل إلى المجموعة التي تتضمن النظام المرجعي الذي تنوي استخدامه وقم بانتقائه.

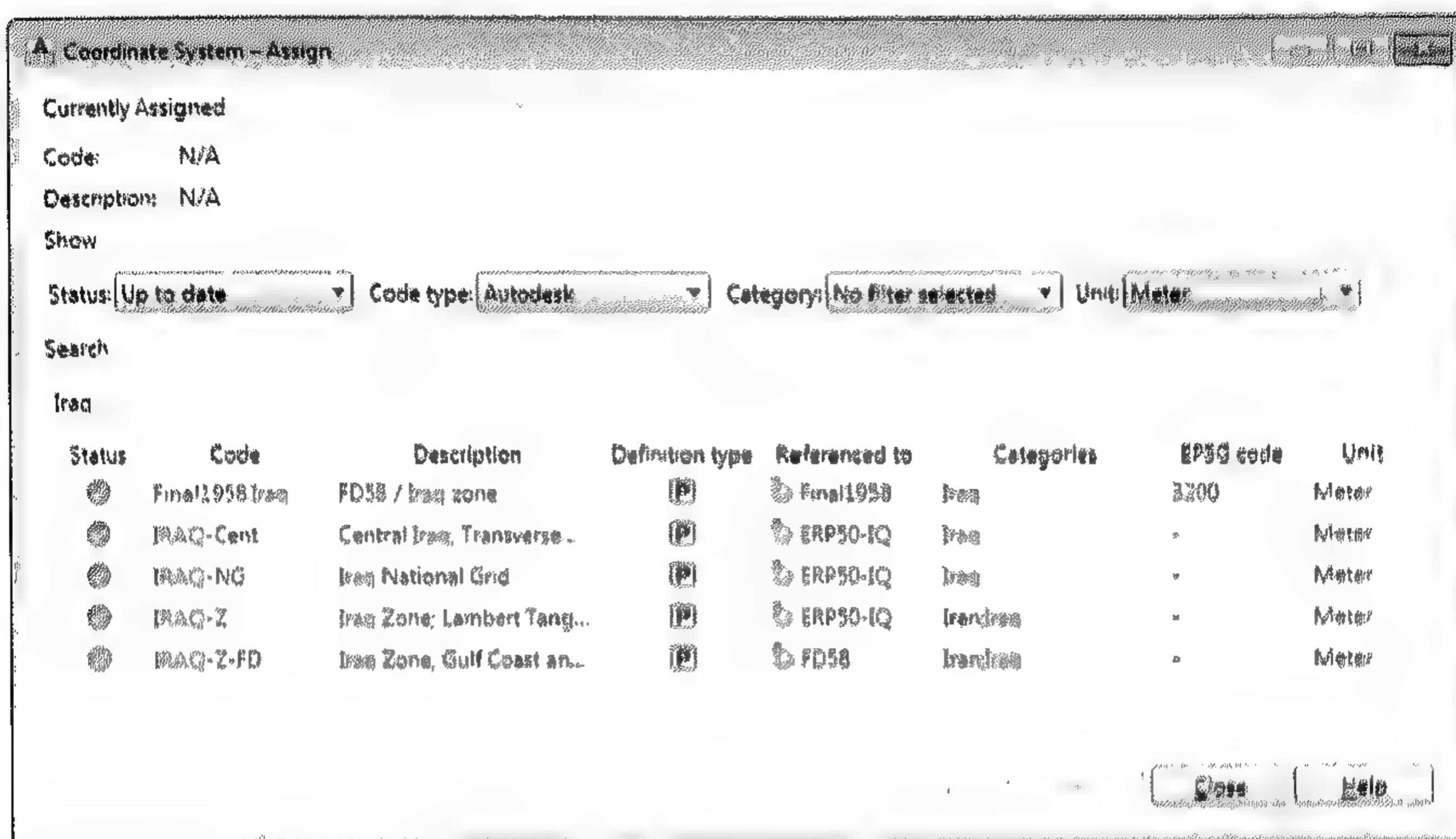
..... **AutoCAD®**
Map 3D

يُعيّن نظام الإحداثيات المرجعي لملف الخريطة الحالي باستخدام الأمر Assign Global Coordinate System :

Ribbon: Map Setup > Coordinate System > Assign
 Command: MAPCSASSIGN

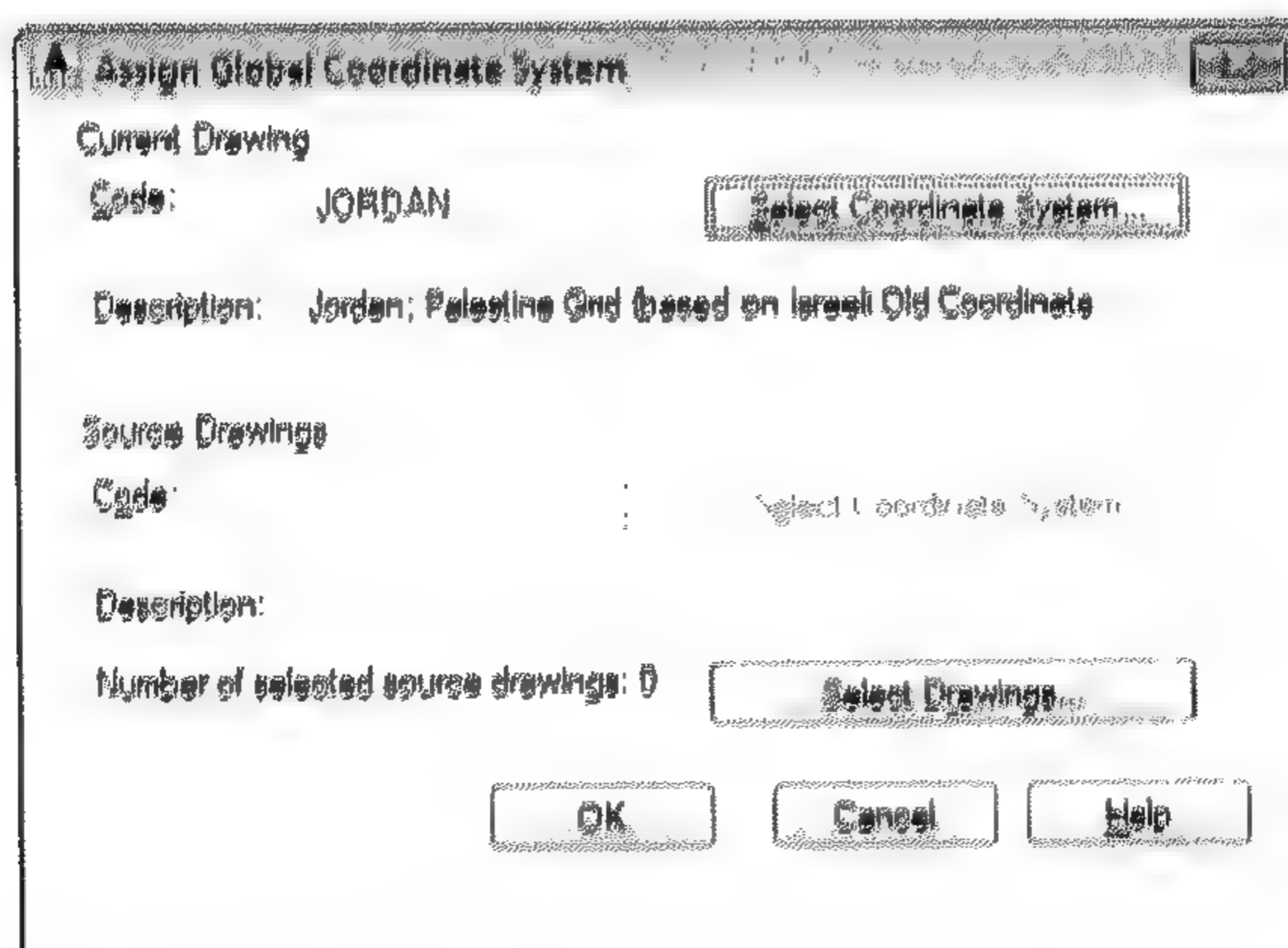
في مربع الحوار Assign - Coordinate System يمكن انتقاء نظام الإحداثيات من مكتبة الأنظمة المرجعية في AutoCAD Map 3D كما يمكن استخدام المرشحات (filters) وإدخال جزء من اسم نظام الإحداثيات المسقطة لترشيح عدد الأنظمة المرجعية التي تظهر في المكتبة.

المثال التالي يبحث عن الأنظمة المرجعية للإحداثيات المسقطَة المستخدمة في العراق بإدخال Iraq في مربع البحث وتحديد Meter في القائمة المنسدلة Unit:



الشكل 42-4 صندوق حوار Coordinate System - Assign في AutoCAD Map 3D

في الإصدارات الأقدم من أوتوكاد يمكن استخدام الأمر ADESETCRDSYS لتعيين نظام الإحداثيات المرجعي لملف الخريطة الحالي. في مربع الحوار Assign Global Coordinate System يمكن تحديد نظام الإحداثيات في القسم Current Drawing بإدخال رمز (Code) نظام الإحداثيات في AutoCAD Map 3D أو بالنقر فوق زر Select Coordinate System وانتقاء نظام الإحداثيات من المكتبة.



الشكل 43-4 صندوق حوار Assign Global Coordinate System

4.11.2. إنشاء نظام مرجعي جديد للإحداثيات المسقطية

تعدّ ميزة إضافة نظام إسقاط جديد ضرورة للغاية لإنشاء أنظمة الإسقاط المحلية التي لا تتوفر في مكتبات البرامج. لا يتطلب إنشاء نظام إسقاط جديد في هذه البرامج أي خبرة خاصة، باستثناء معرفة وسطاء الإسقاط التي ذكرناها سابقاً. قبل إنشاء نظام مرجعي جديد للإحداثيات المسقطية قد يحتاج المستخدم إلى إنشاء النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية الذي يشكل الأساس له.

مشروع:

يراد إنشاء نظام مرجعي للإحداثيات المسقطية يعتمد على النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية WGS 84 وإسقاط ميركاتور المستعرض بحيث يكون عامل المقياس في خط الزوال الرئيسي 0.04% وبحيث تمر دائرة العرض وخط الزوال الرئيسيين بالكعبة المشرفة التي إحداثياتها:

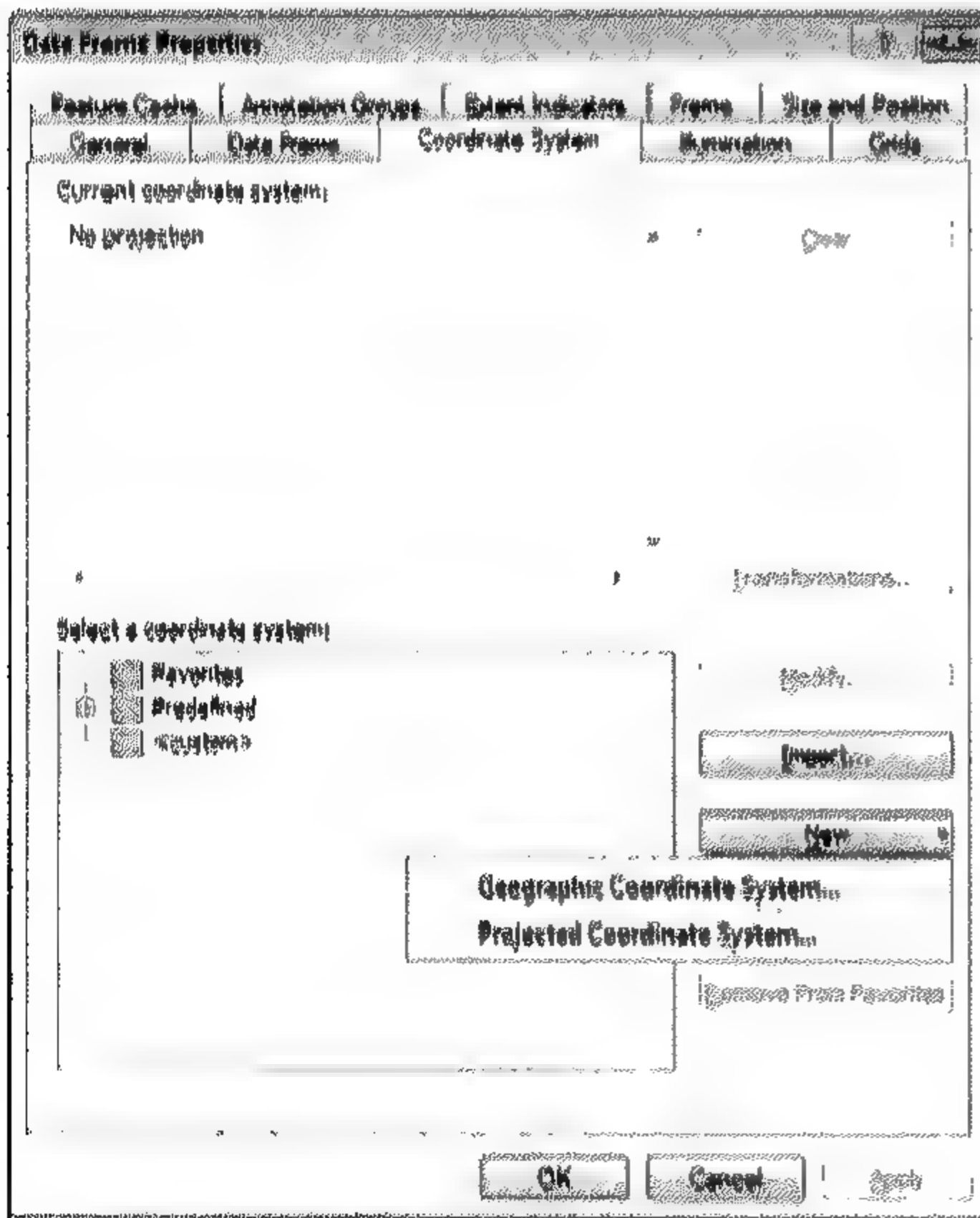
$$\varphi = 21^{\circ}25'21.15'' N = 21.422542^{\circ}$$

$$\lambda = 39^{\circ}49'34.10'' E = 39.826139^{\circ}$$



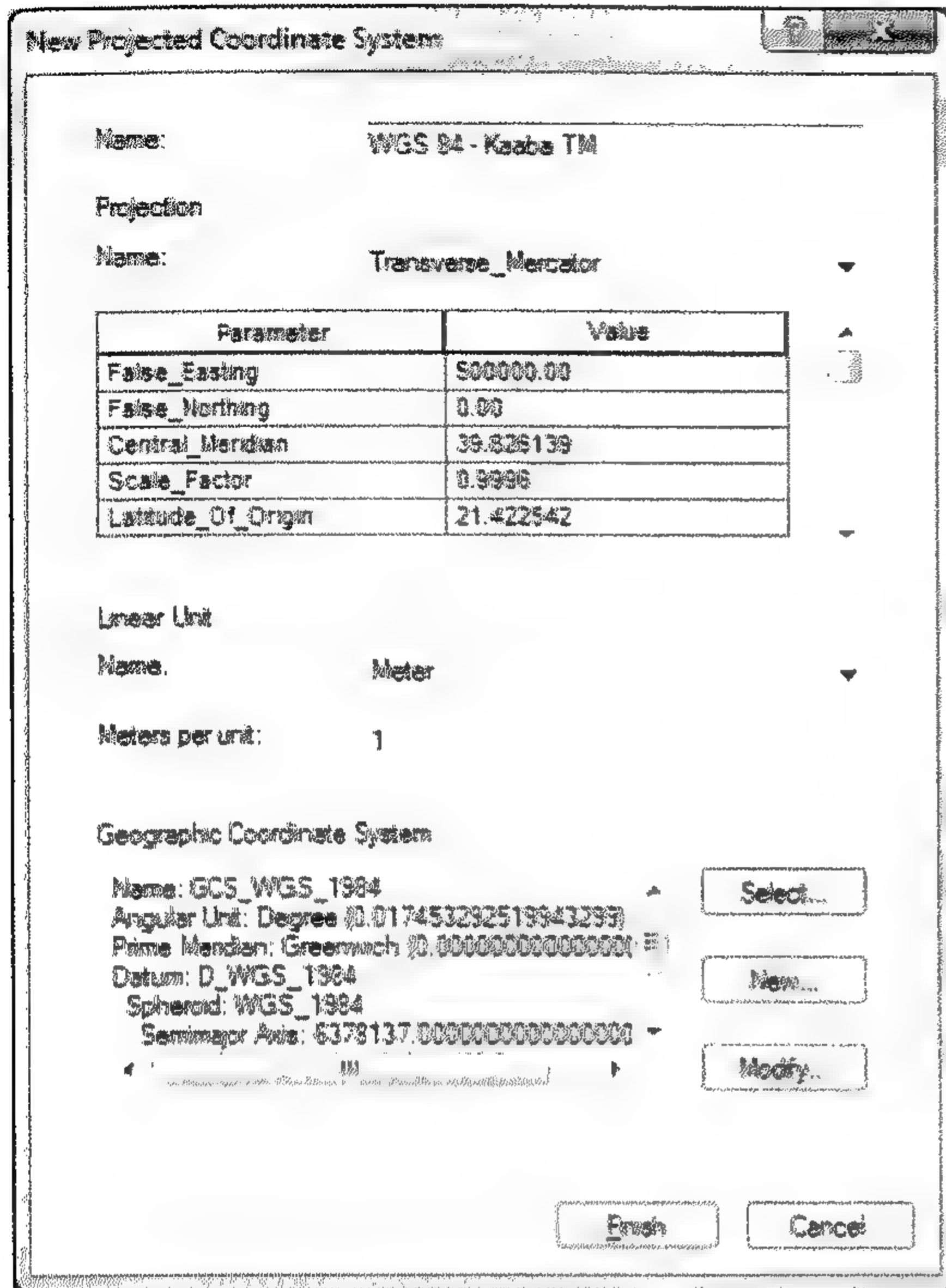
الحل:

يمكن تعريف نظام إسقاط جديد (Projected Coordinate System) في ArcGIS من خلال مربع حوار خصائص إطار البيانات:



الشكل 4-4 صندوق حوار خصائص إطار البيانات في

ArcGIS



ندخل وسطاء إسقاط الخريطة في مربع حوار "نظام الإحداثيات المسقطة الجديد"، مع انتقاء النظام المرجعي WGS 84 بالنقر على زر Select...

Select... > World > WGS 1984.prj

بعد النقر على زر موافق، والعودة إلى صندوق الحوار السابق، لحفظ نظام الإحداثيات الجديد بالنقر فوق زر Add To Favorites. يقوم ArcGIS بحفظ النظام في ملف PRJ في المجلد:

C:\Users\Your Name\AppData\Roaming\ESRI\Desktop10.0\ArcMap\Coordinate Systems

الشكل 4-45 إدخال وسطاء الإسقاط في مربع حوار نظام الإحداثيات المسقطة الجديد

AutoCAD®
Map 3D

الخطوات التالية تبين كيفية إنشاء النظام المرجعي المطلوب بأسلوب المعالج (wizard) الذي يقود المستخدم أثناء إنشاء النظام (انظر 3.3.5.1.2 إنشاء نظام مرجعي جديد للإحداثيات الجغرافية). يمكن إنشاء نظام إحداثيات مرجعي في AutoCAD Map 3D باستخدام الأمر Create Coordinate System:

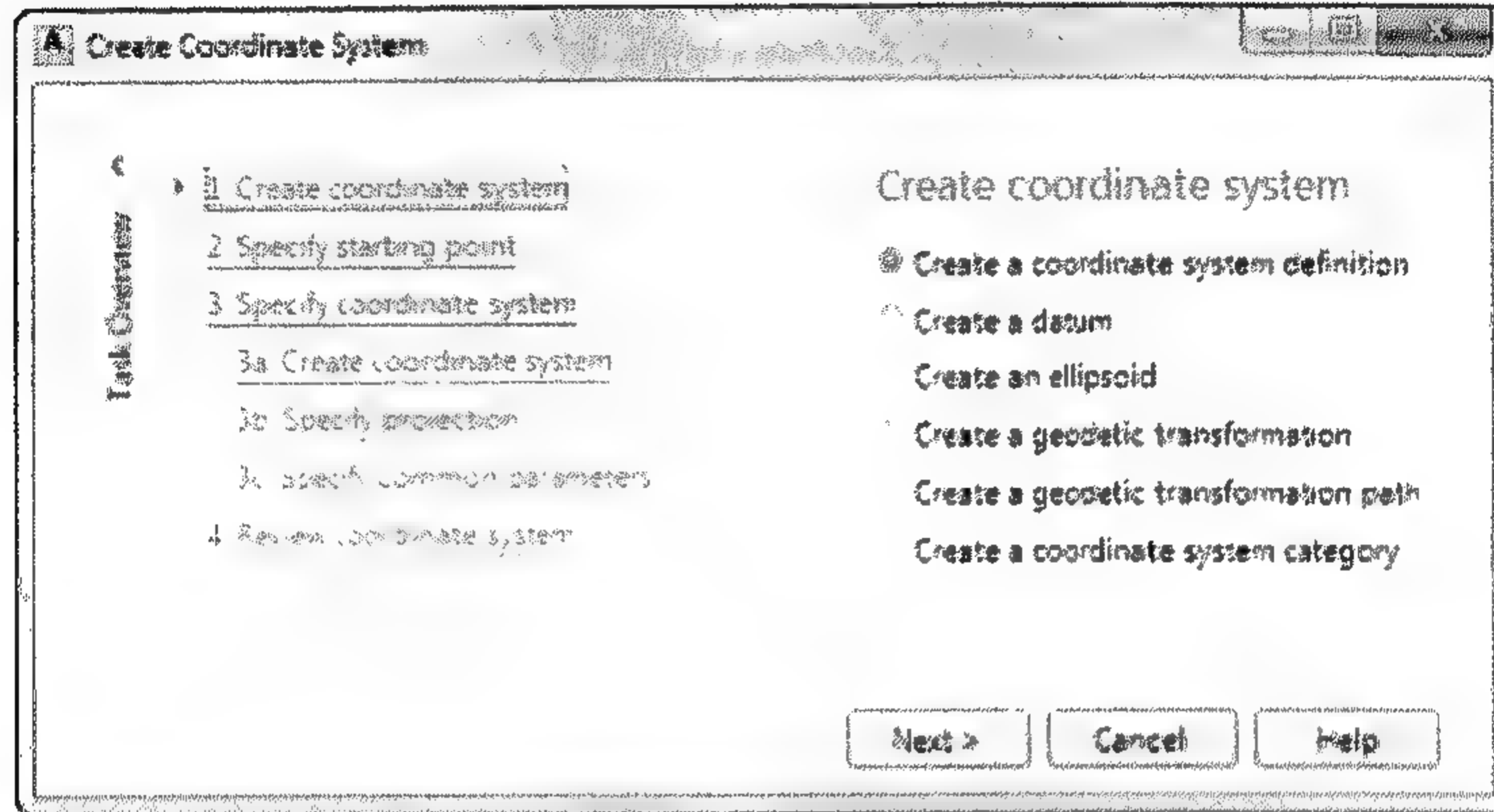
Ribbon: Map Setup > Coordinate System > Create > Create Coordinate System
Command: MAPSCREATE

ملاحظة: يتطلب إنشاء نظام مرجعي جديد في AutoCAD Map 3D صلاحية إدارية، ويمكن تسجيل الدخول بهذه الصلاحيات باستخدام الأمر MAPLOGIN أو بالنقر فوق أيقونة البرنامج

بزر الفأرة الأيمن واختيار Run as administrator، أو بمنح المستخدم إذن (permission) تعديل المجلد:

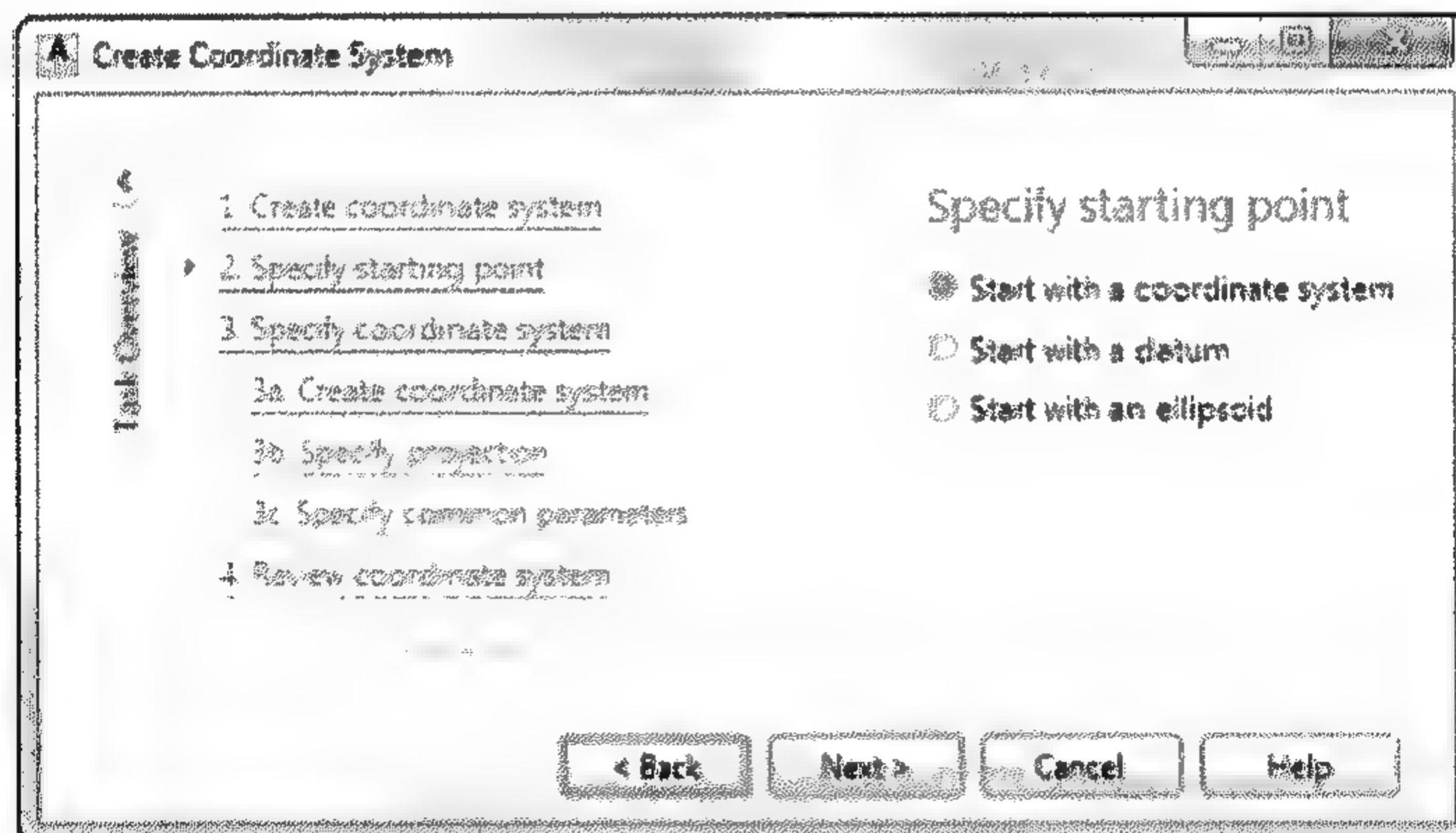
C:\ProgramData\Autodesk\Geospatial Coordinate Systems

في صندوق الحوار Create Coordinate System ننتق الخيار Create a coordinate system definition، ثم ننقر فوق الزر Next.



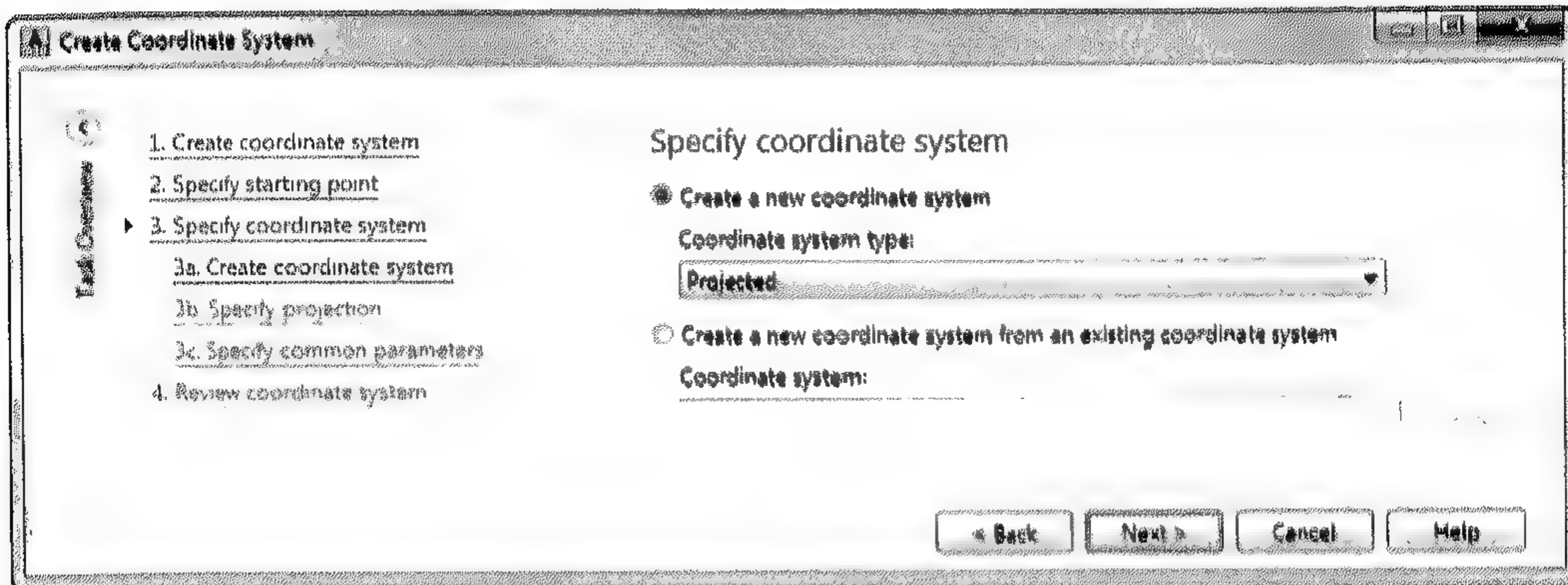
الشكل 46-4 صندوق حوار Create Coordinate System في AutoCAD Map 3D

بما أن النظام الجديد يستخدم مرجعاً جيوديسياً متوفراً في مكتبة البرنامج ننتق الخيار Start with a coordinate system:



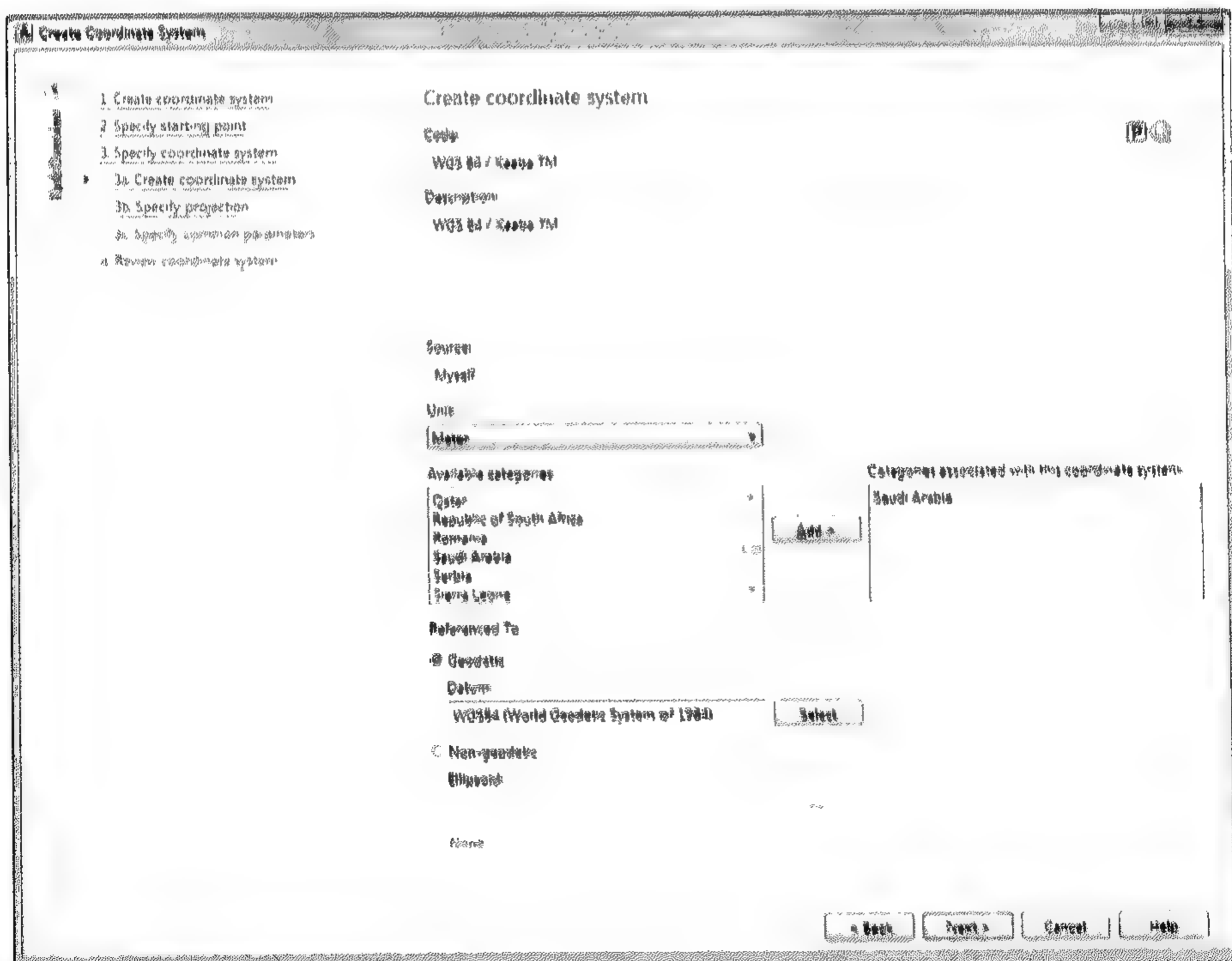
الشكل 47-4 انتقاء نقطة البداية في تعريف النظام المرجعي في AutoCAD Map 3D

الآن نحدد نوع النظام المرجعي الجديد وننتقي Projected من القائمة المنسدلة التي تظهر:



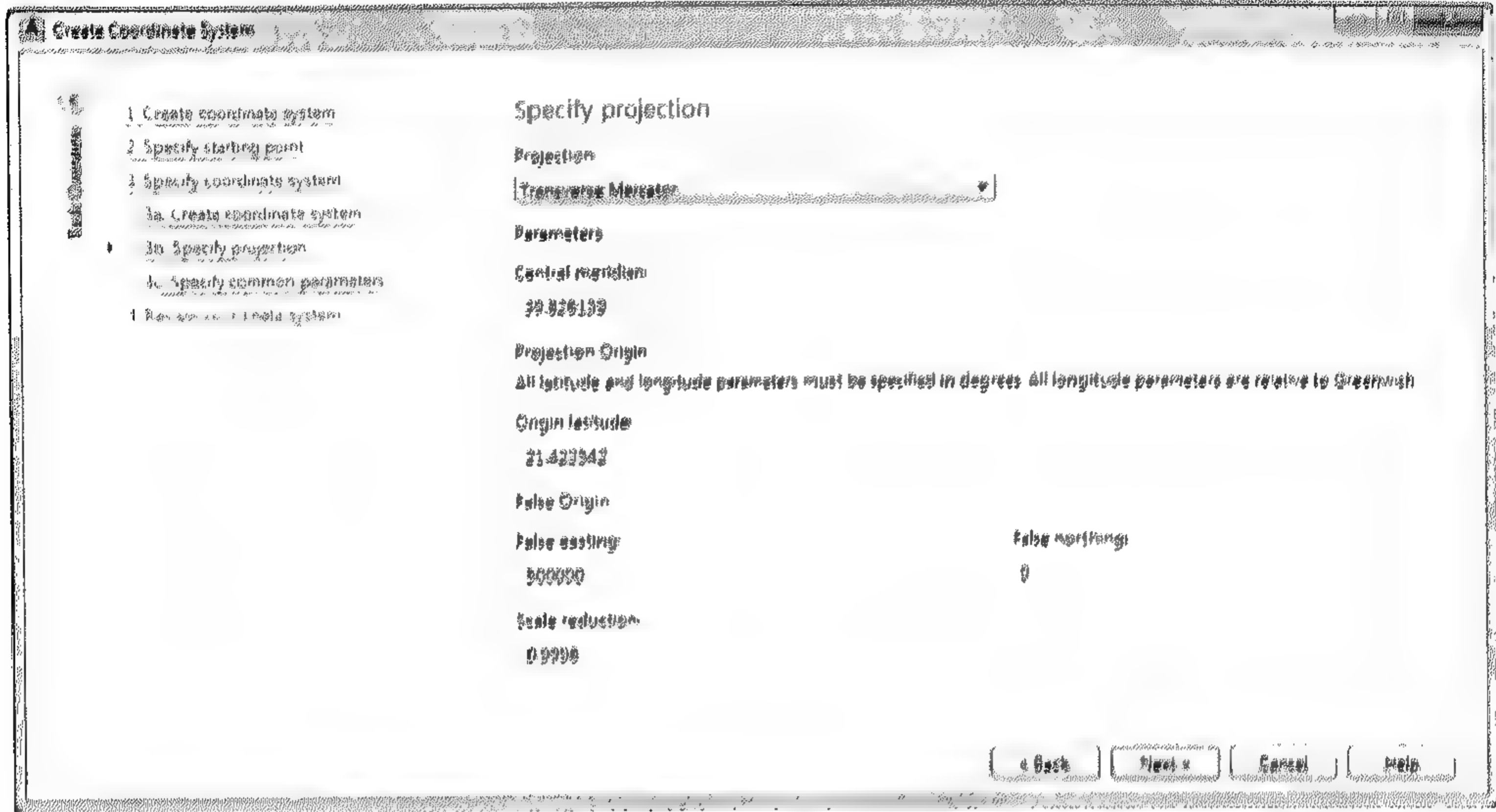
الشكل 4-48 تحديد نوع النظام المرجعي الجديد

في الخطوة التالية ندخل معلومات النظام الجديد مثل الاسم ووحدة القياس والفئة التي تتضمن هذا النظام الجديد واسم المرجعي الجيوديسي الذي يعتمد عليه النظام المرجعي الجديد:



الشكل 4-49 إدخال معلومات النظام المرجعي للإحداثيات المسقطة

ثم ندخل وسطاء الإسقاط:



الشكل 4-50 إدخال وسطاء الإسقاط في صندوق الحوار Create Coordinate System

في الخطوة التالية Specify Common Parameters ندخل القيمة 1 في مربع الإدخال Map scale (paper)، وفي الخطوة التي تليها نوافق على معلومات ووسطاء النظام المرجعي الجديد، مع العلم أن تعريف WKT للنظام الذي قمنا بإنشائه يظهر في هذه الخطوة بعد اكتمال المعلومات التي أدخلها المستخدم كما يلي:

```
PROJCS["WGS 84 / Kaaba TM", GEOGCS["LL84", DATUM["WGS84", SPHEROID["WGS84",
6378137.000, 298.25722293], TOWGS84[0.0000, 0.0000, 0.0000, 0.000000, 0.000000,
0.000000, 0.00000000]], PRIMEM["Greenwich", 0], UNIT["Degree",
0.017453292519943295]], PROJECTION["Transverse_Mercator"],
PARAMETER["false_easting", 500000.000], PARAMETER["false_northing", 0.000],
PARAMETER["scale_factor", 0.999600000000], PARAMETER["central_meridian",
39.82613900000000], PARAMETER["latitude_of_origin", 21.42254200000000],
UNIT["Meter", 1.000000000000000]]
```

نقر فوق الزر Finish، وبذلك نكون قد انتهينا من إنشاء النظام المرجعي للإحداثيات المسقطه WGS 84 / Kaaba TM الذي يمكن الوصول إليه في مكتبة البرنامج وتحت الفئة Saudi Arabia.



من الجدول MDSYS.SDO_COORD_OP_METHODS نجد معرف إسقاط ميركاتور المستعرض 9807. نقوم بإضافة عملية على الإحداثيات إلى الجدول MDSYS.SDO_COORD_OPS:

```
SQL> INSERT INTO MDSYS.SDO_COORD_OPS (COORD_OP_ID, COORD_OP_NAME,
COORD_OP_TYPE, SOURCE_SRID, TARGET_SRID, COORD_TFM_VERSION,
COORD_OP_VARIANT, COORD_OP_METHOD_ID, UOM_ID_SOURCE_OFFSETS,
UOM_ID_TARGET_OFFSETS, INFORMATION_SOURCE, DATA_SOURCE, SHOW_OPERATION,
IS_LEGACY, LEGACY_CODE, REVERSE_OP, IS_IMPLEMENTED_FORWARD,
IS_IMPLEMENTED_REVERSE) VALUES (999999999, 'WGS 84 / Kaaba TM', 'CONVERSION',
NULL, NULL, NULL, NULL, 9807, NULL, NULL, NULL, NULL, 1, 'FALSE', NULL, 1, 1, 1);
```

من الجدول MDSYS.SDO_COORD_OP_PARAM_USE نجد معرفات وسطاء الإسقاط هي:

8801: Latitude_Of-Origin

8802: Central_Meridian

8805: Scale_Factor

8806: False_Easting

8807: False_Northing

من الجدول MDSYS.SDO_UNITS_OF_MEASURE نجد معرفات وحدات القياس المطلوبة لتعريف الإسقاط:

9001: metre

9102: degree

9201: unity

نقوم بإضافة زاوية عرض المبدأ الطبيعي:

```
SQL> INSERT INTO MDSYS.SDO_COORD_OP_PARAM_VALS (COORD_OP_ID,
COORD_OP_METHOD_ID, PARAMETER_ID, PARAMETER_VALUE,
PARAM_VALUE_FILE_REF, UOM_ID) VALUES (999999999, 9807, 8801, 21.422542, NULL,
9102);
```

وإضافة زاوية طول المبدأ الطبيعي:

```
SQL> INSERT INTO MDSYS.SDO_COORD_OP_PARAM_VALS (COORD_OP_ID,
COORD_OP_METHOD_ID, PARAMETER_ID, PARAMETER_VALUE,
PARAM_VALUE_FILE_REF, UOM_ID) VALUES (999999999, 9807, 8802, 39.826139, NULL,
9102);
```

وعامل الإسقاط:

```
SQL> INSERT INTO MDSYS.SDO_COORD_OP_PARAM_VALS (COORD_OP_ID,
COORD_OP_METHOD_ID, PARAMETER_ID, PARAMETER_VALUE,
PARAM_VALUE_FILE_REF, UOM_ID) VALUES (999999999, 9807, 8805, 0.9996, NULL,
9201);
```

والشرقيات الزائفة:

```
SQL> INSERT INTO MDSYS.SDO_COORD_OP_PARAM_VALS (COORD_OP_ID,
COORD_OP_METHOD_ID, PARAMETER_ID, PARAMETER_VALUE,
PARAM_VALUE_FILE_REF, UOM_ID) VALUES (999999999, 9807, 8806, 500000, NULL,
9001);
```

والشماليات الزائفة:

```
SQL> INSERT INTO MDSYS.SDO_COORD_OP_PARAM_VALS (COORD_OP_ID,
COORD_OP_METHOD_ID, PARAMETER_ID, PARAMETER_VALUE,
PARAM_VALUE_FILE_REF, UOM_ID) VALUES (999999999, 9807, 8807, 0, NULL, 9001);
```

من الجدول MDSYS.SDO_COORD_REF_SYS نعلم أن معرف نظام الإحداثيات الجغرافية 84 WGS هو 4326 وأن معرف المرجع الجيوديسي 84 WGS هو 6326. معرف نظام الإحداثيات الديكارتي الذي سنستخدمه مع نظام الإسقاط هو 4400.

الآن نقوم بإضافة نظام الإحداثيات المسقط:

```
SQL> INSERT INTO MDSYS.SDO_COORD_REF_SYSTEM (SRID, COORD_REF_SYS_NAME,
COORD_REF_SYS_KIND, COORD_SYS_ID, DATUM_ID, SOURCE_GEOG_SRID,
PROJECTION_CONV_ID, CMPD_HORIZ_SRID, CMPD_VERT_SRID, INFORMATION_SOURCE,
DATA_SOURCE, IS_LEGACY, LEGACY_CODE, LEGACY_WKTEXT, LEGACY_CS_BOUNDS,
GEOG_CRS_DATUM_ID) VALUES (999999999, 'WGS 84 / Kaaba TM', 'PROJECTED', 4400,
NULL, 4326, 999999999, NULL, NULL, NULL, NULL, NULL, 'FALSE', NULL, NULL, 6326);
```

يمكن التأكد من نجاح إضافة النظام المرجعي هذا من خلال تعليمة SQL:


```
SQL> SELECT srid, wktext FROM CS_SRS WHERE srid = 999999999;
```

```
SRID
```

```
WKTEXT
```

```
999999999
```

```
PROJCS["WGS 84 / Kaaba TM", GEOGCS [ "WGS 84", DATUM ["World Geodetic System
1984 (EPSG ID 6326)", SPHEROID ["WGS 84 (EPSG ID 7030)", 6378137.0, 298.257223563]],
PRIMEM [ "Greenwich", 0.000000 ], UNIT ["Decimal Degree", 0.0174532925199433]],
PROJECTION ["Transverse Mercator"], PARAMETER ["Latitude_Of_Origin", 21.422542],
PARAMETER ["Central_Meridian", 39.826139], PARAMETER ["Scale_Factor", 0.9996],
PARAMETER ["False_Easting", 500000.0], PARAMETER ["False_Northing", 0.0], UNIT
["Meter", 1.0]]
```



يمكن في FME إنشاء نظام مرجعي للإحداثيات الجغرافية بتحرير الملف MyCoordSysDefs.fme في المجلد Reproject في مجلد FME، وإضافة وسطاء النظام المراد إنشاؤه. النص التالي يصف النظام المرجعي المطلوب:

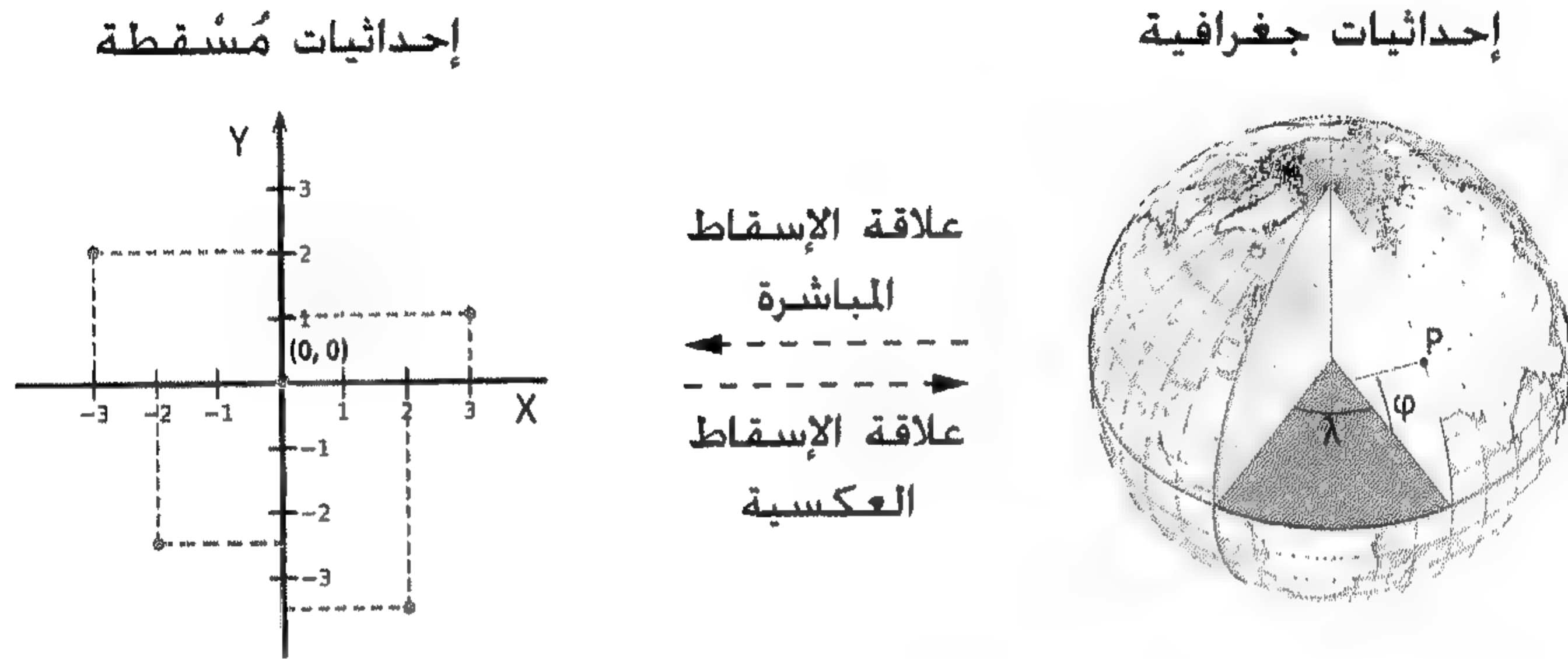
```
COORDINATE_SYSTEM_DEF WGS84-Kaaba-TM \
DESC_NM "WGS 84 / Kaaba TM" \
SOURCE "Myself" \
PROJ TM \
UNIT METER \
DT_NAME WGS84 \
PARM1 39.826139 \
GROUP "Custom Group" \
SCL_RED 0.9996 \
ORG_LAT 21.422542 \
X_OFF 500000.0 \
Y_OFF 0.0
```

4.11.3. إسقاط البيانات المكانية وتحويلها

كما ذكرنا في بحث إعداد بيئة العمل يمكن إضافة البيانات المكانية من مصادر مختلفة وسيقوم ArcGIS و AutoCAD Map 3D بتحويلها تلقائياً إلى نظام إحداثيات ملف الخريطة بحيث تتراكب بصورة صحيحة، ولا تُدخل أية تعديلات على إحداثيات البيانات الأصلية، لأن ArcGIS

و AutoCAD Map يقومان بذلك لحظياً (on the fly) لأغراض العرض فقط.

لكن العمل مع البيانات المكانية يتطلب أحياناً تحويل البيانات المكانية بصورة نهائية، وليس بصورة مؤقتة، من نظام مرجعي ما إلى نظام مرجعي آخر للإحداثيات المسقطة، وغالباً ما يكون ذلك عند مشاركة البيانات المكانية بين جهات تعتمد أنظمة مرجعية مختلفة، أو عند انتقال الجهة أو الدولة نهائياً إلى نظام جديد.



الشكل 51-4 تغيير الإحداثيات بين الجغرافية والمسقطة

يتم تغيير الإحداثيات بين الأنظمة المرجعية للإحداثيات الجغرافية والمسقطة باستخدام علاقات الإسقاط، حيث تقوم هذه العمليات بتغيير الإحداثيات الجغرافية إلى مسقطة (العلاقات المباشرة) أو الإحداثيات المسقطة إلى جغرافية (العلاقات العكسية)، ناقشناها في بحث أنواع الإسقاط (انظر 4.10 أنواع الإسقاط).

يمكن أيضاً تحويل الإحداثيات بين نظامين مرجعيين للإحداثيات المسقطة يعتمدان نظامين مرجعيين مختلفين للإحداثيات الجغرافية (وبالتالي مرجعين جيوديسيين مختلفين) باستخدام عمليات تحويل مباشرة (انظر 5.3 عمليات أخرى على الإحداثيات).

يجب أن نتذكر أن تحويل البيانات المكانية من نظام مرجعي للإحداثيات الجغرافية إلى نظام مرجعي للإحداثيات المسقطة يتصف بدقة نتائجه وبخلوه من الأخطاء، ذلك أن تطبيق معادلات الإسقاط على الإحداثيات الجغرافية لا يتطلب أي تحويل بين المراجع الجيوديسية. مثلاً يمكن تغيير الإحداثيات الجغرافية المنسوبة إلى WGS 84 إلى النظام المرجعي للإحداثيات المسقطة WGS 84 / UTM zone 39N بدون أخطاء، لكن تغيير الإحداثيات الجغرافية المنسوبة إلى Nahrwan 1967 إلى النظام المرجعي للإحداثيات المسقطة WGS 84 / UTM zone 39N غير ممكن قبل تحويل الإحداثيات الجغرافية من المرجع الجيوديسي Nahrwan 1967 إلى WGS 84 أولاً.

بهدف تنظيم المعلومات في هذا الكتاب سنقتصر في الأمثلة التالية على التحويل بين الإحداثيات الجغرافية والمسقطية على ذات المرجع الجيوديسي، بينما سنتناول عملية تحويل إحداثيات الجغرافية المكانية بين نظامين مرجعيين للإحداثيات الجغرافية في فصل العمليات على الإحداثيات (انظر 5.2 تحويل الإحداثيات).

كما في تحويل البيانات المكانية بين الأنظمة المرجعية للإحداثيات الجغرافية، تختلف طريقة إسقاط البيانات المتجهة والبيانات المتسامتة قليلاً، حيث يجب تحديد بعض المعلومات الإضافية عند إسقاط البيانات المتسامتة:

- طريقة أخذ العينات (resampling) (انظر 5.3.2 أخذ العينات عند تحويل البيانات المتسامتة).
- تحديد أبعاد الخلية الناتجة من عملية التحويل (output cell size)، لأن أبعاد الخلية قبل التحويل مقيسة على النظام المرجعي القديم ويجب تحويلها إلى ما يقابل ذلك في وحدات قياس النظام المرجعي الجديد ويمكن أن يؤدي إدخال أبعاد غير صحيحة للخلية إلى أخطاء فادحة.

بهدف تنظيم المعلومات في هذا الكتاب سنفترض أيضاً كما مر معنا في بحث النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية أن البيانات المتسامتة في المثال التالي مسندة جغرافياً أو تأتي مع ملف العالم المرافق، بينما سنتناول بالتفصيل الإسناد الجغرافي للبيانات المتسامتة وبنية ملف العالم في الفصل الثالث (انظر 5.3 عمليات أخرى على الإحداثيات).

مشروع:

لدينا البيانات المكانية المتجهة والمتسامتة Country_WGS84 في الإحداثيات الجغرافية WGS 84 مطلوب تحويلها بصورة نهائية إلى النظام المرجعي للإحداثيات المسقطية WGS 84 / UTM zone 39N.

الحل:



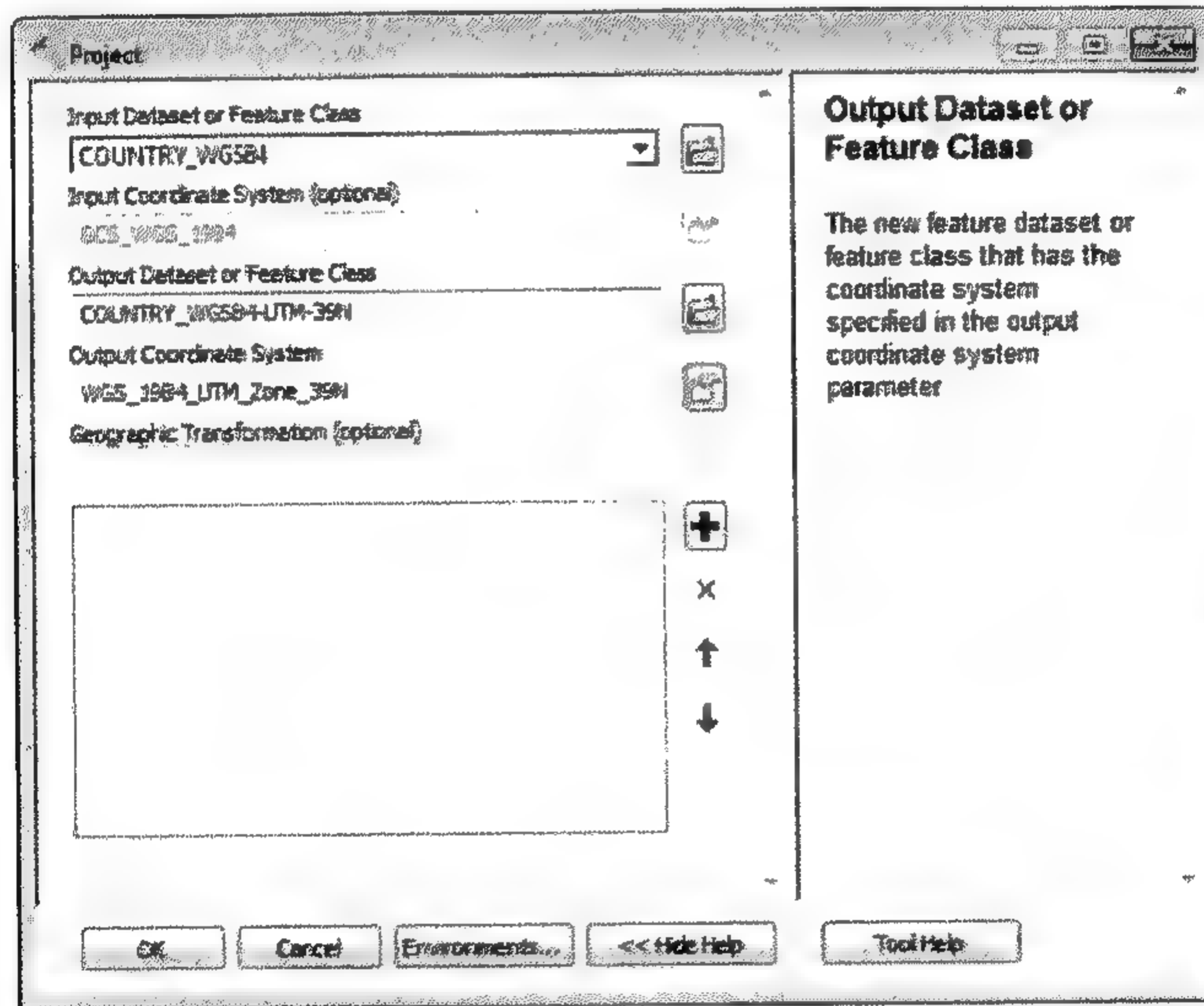
يمكن استخدام الأداة Project في ArcToolbox في برنامج ArcGIS لتحويل البيانات المتجهة بسهولة:

Data Management Tools > Projections and Transformations > Feature > Project

نحدد اسم البيانات التي نرغب بتحويلها من القائمة المنسدلة Input Dataset or Feature Class، ونحدد اسم البيانات الناتجة من التحويل، أي Country_WGS-UTM-39N مثلاً، ومسارها، ثم بالنقر فوق الزر Output Coordinate System نحدد النظام المرجعي للإحداثيات المسقط WGS 84 / UTM zone 39N بانتقاء الملف WGS 1984 UTM Zone 39N.prj من المجلد:

Projected > UTM > WGS 1984 > Northern Hemisphere

يكشف ArcGIS أن التحويل المطلوب لا يتطلب تحويلاً بين المراجع الجيوديسية ولذلك تبقى القائمة المنسدلة Geographic Transformation خالية من الخيارات:

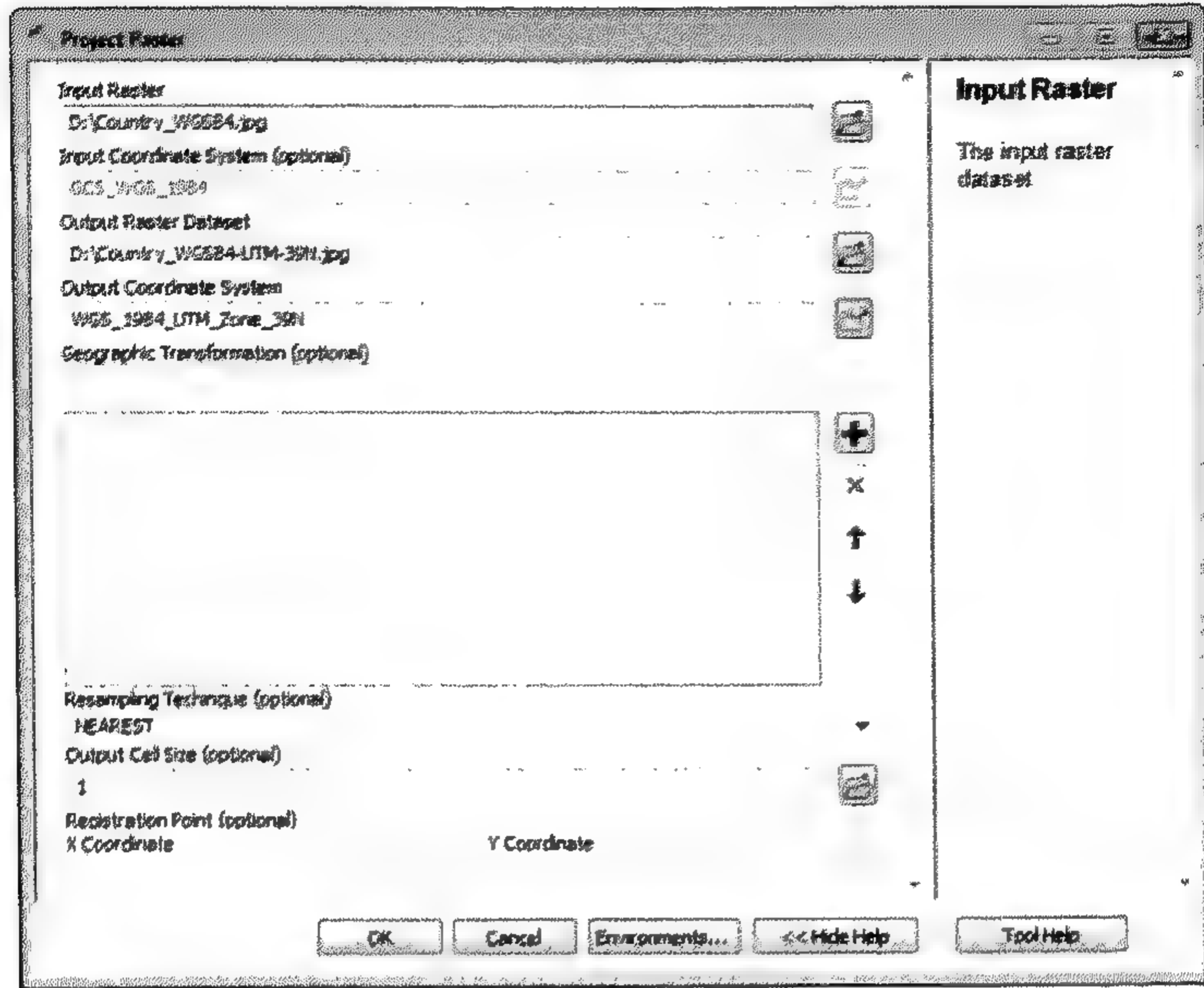


الشكل 4-52 الأداة Project في ArcToolbox في ArcGIS

بعد النقر على زر موافق يقوم ArcGIS بتحويل البيانات إلى النظام المطلوب وفي المسار الذي قمنا بتحديدته.

يمكن إسقاط البيانات المتسامية في ArcGIS بالأداة Project Raster في ArcToolbox بطريقة مشابهة للخطوات المستخدمة في إسقاط البيانات المتجهة:

Data Management Tools > Projections and Transformations > Raster > Project Raster



الشكل 4-53 إسقاط البيانات المتسامة في ArcGIS

بالإضافة إلى الخطوات السابقة يجب إدخال معلومتين في الأداة Project Raster:

- طريقة أخذ العينات: وهي طريقة الجار الأقرب في المثال أعلاه.
- تحديد أبعاد الخلية الناتجة من عملية التحويل (output cell size). عادة، يقوم ArcGIS بتعيين أبعاد الخلية الناتجة بناءً على النظامين المرجعيين اللذين يتم التحويل بينهما، ولكن ينصح بمراجعة هذه القيمة قبل المتابعة بعملية التحويل.

يعد إسقاط البيانات المتسامة يقوم ArcGIS بكتابة ملف العالم والملف المساعد للبيانات الجديدة بحيث تظهر في موقعها الصحيح عند فتحها.

إذا كانت هيئة البيانات الناتجة هي JPEG أو JPEG 2000 أو قاعدة بيانات جيومكانية (geodatabase) يمكن النقر فوق الزر Environment في صندوق حوار Project Raster للتحكم بخيارات ضغط الصورة في المجموعة Raster Storage في القائمة المنسدلة Compression.

AutoCAD®
Map 3D

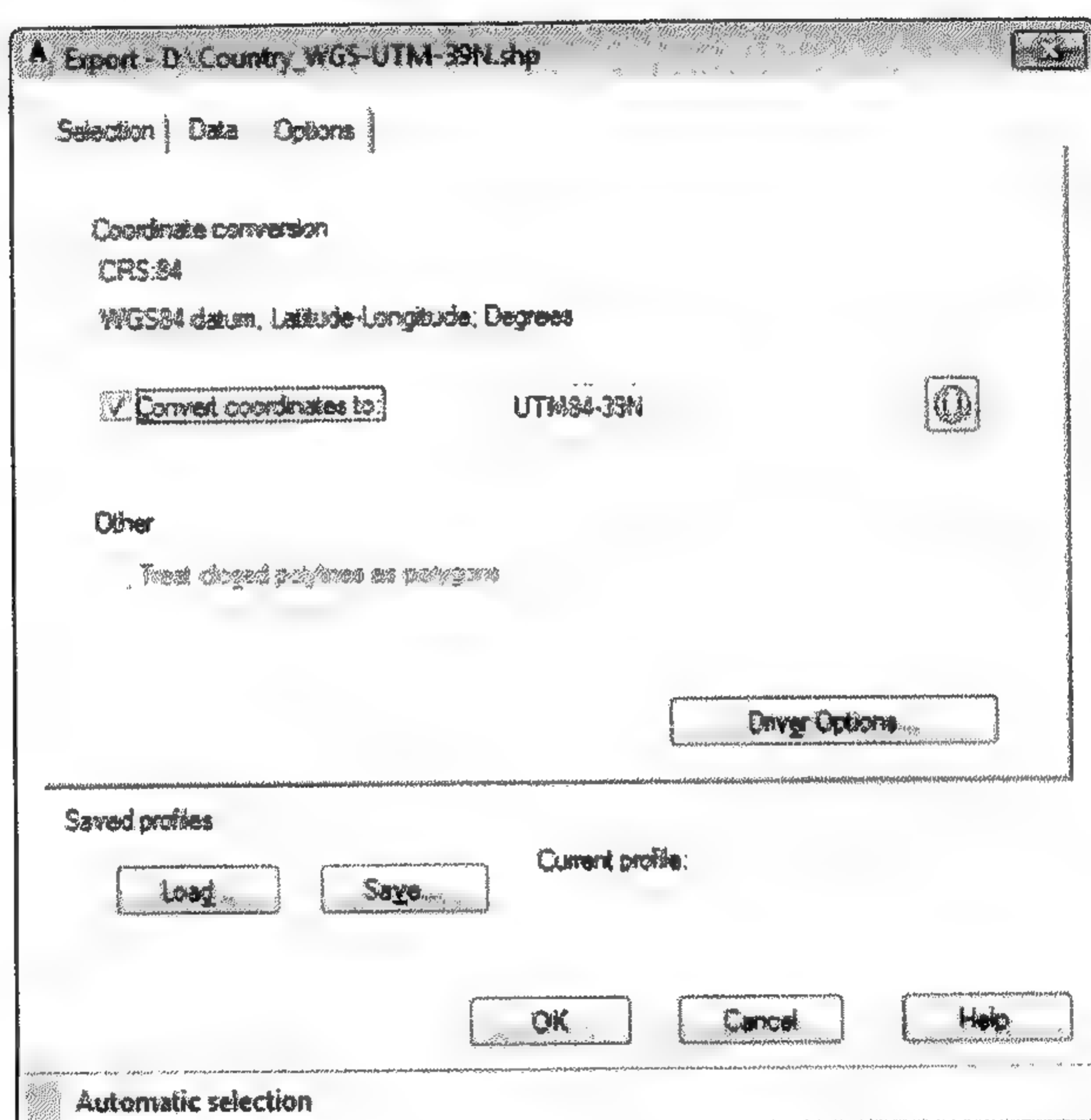
عند تصدير البيانات المكانية في AutoCAD Map 3D إلى أي هيئة يمكن التحكم بالنظام

المرجعي لإحداثيات البيانات الناتجة من التحويل باستخدام الأمر Map 3D Export.

Ribbon: Output > Map Data Transfer > Map 3D Export

Command: MAPEXPORT

في صندوق حوار تصدير البيانات، وفي لسان التبويب (tab) المسمى Options يمكن ضبط النظام المرجعي لإحداثيات البيانات الناتجة بتمكين الخيار Convert coordinates to وانتقاء النظام المرجعي المطلوب بالنقر فوق زر مكتبة الأنظمة المرجعية أو كتابة رمز النظام في مربع الإدخال.



الشكل 54-4 التحكم بالنظام المرجعي لإحداثيات البيانات أثناء تصديرها في AutoCAD Map 3D

يتم تحويل البيانات المتسامة في AutoCAD Map 3D بإعداد ملف الخريطة الحالي بحيث يكون WGS 84 / UTM zone 39N هو النظام المرجعي فيه، وباستخدام الملحق Raster Design يتم إدراج الصورة ومن ثم تصديرها (وملف العالم المرافق) إلى ملف جديد، أو تصدير ملف العالم فقط.

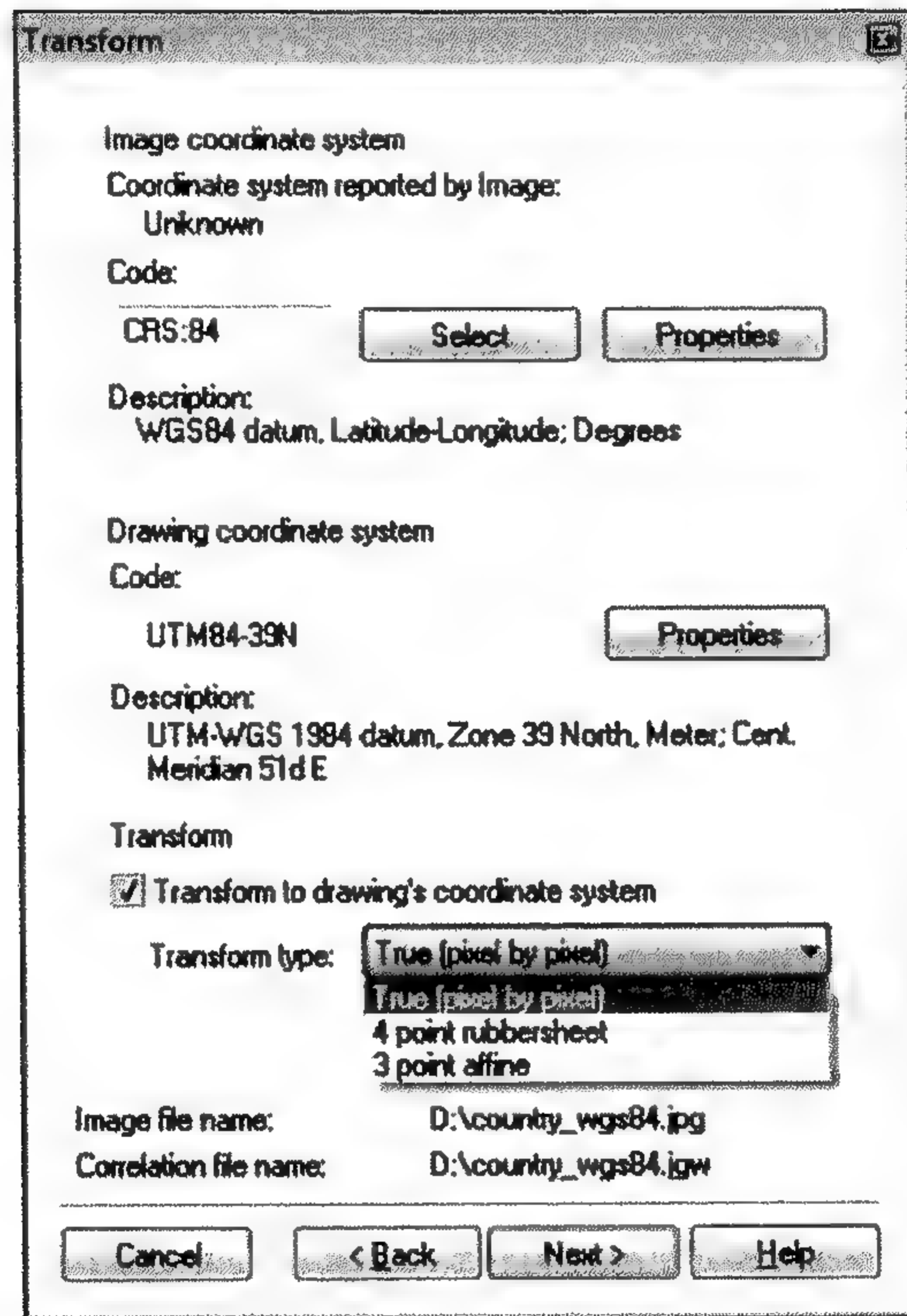
يمكن إدراج الصورة في الملحق Raster Design باستخدام الأمر Insert:

Ribbon: Raster Tools > Insert & Write > Insert

Command: IINSERT

بعد ذلك نقوم بانتقاء الملف، وفي صندوق الحوار Pick Correlation Source نحدد أسلوب الارتباط وهو الارتباط باستخدام ملف العالم (world file correlation) أو الارتباط باستخدام ملف الصورة (image file correlation)، كما يمكن تعديل معلومات الارتباط في صندوق الحوار التالي Modify Correlation Values.

أولاً يجب إسقاط الصورة إلى النظام المرجعي لملف الخريطة ويمكن ذلك في صندوق الحوار Transform بتمكين الخيار Transform to drawing's coordinate system:



الشكل 4-55 إسقاط البيانات المتسامة في الملحق Raster Design في AutoCAD Map 3D

يمكن انتقاء طريقة التحويل بين الخيارات الثلاثة True أو 4 point rubbersheet أو 3 point affine (انظر 5.3 عمليات أخرى على الإحداثيات لمعلومات التحويل المتصل والتصفح المطاطي).

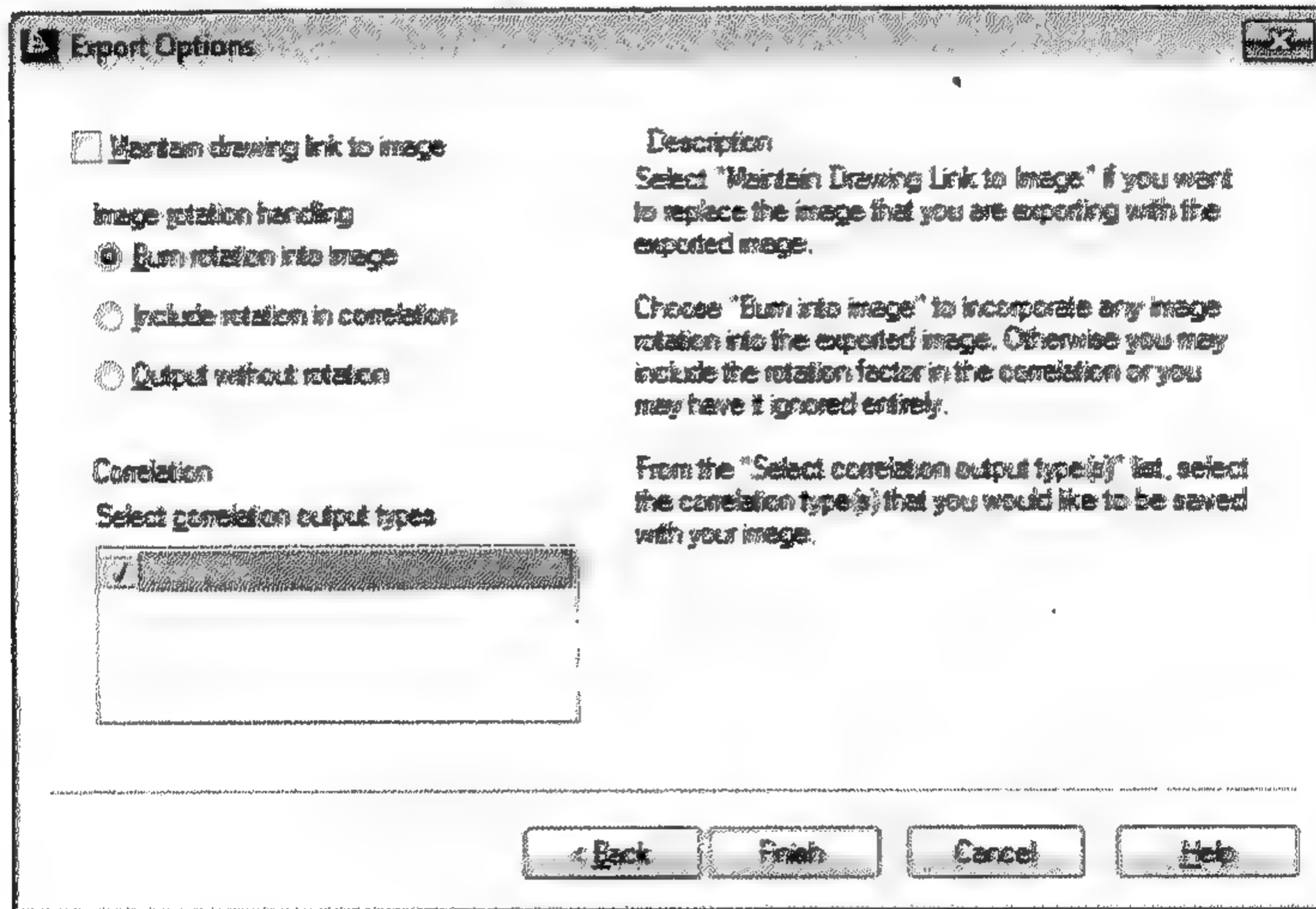
بعد إدراج الصورة في AutoCAD Map 3D يمكن حفظ الصورة في النظام المرجعي WGS 84 / UTM zone 39N بطريقتين؛ الأولى تصدير الملف والثانية تصدير ملف العالم فقط.

يمكن تصدير الملف إلى ملف جديد في الطريقة الأولى من خلال الأمر World File:

Ribbon: Raster Tools > Insert & Write > Image Export

Command: IEXPORT

ويمكن في هذه الحالة تصدير الصورة إلى هيئة ملفات GeoTIFF مثلاً التي تدعمها معظم برمجيات نظام المعلومات الجغرافية بحيث تُحفظ معلومات النظام المرجعي ومعلومات الارتباط ضمن الصورة، أو انتقاء أي هيئة ملفات أخرى مع حفظ معلومات الارتباط في ملف العالم المرافق. إذا كانت الصورة تصنع زاوية مع محاور الإحداثيات يمكن للمستخدم التحكم بما إذا كان يرغب بتعريف زاوية الدوران في ملف العالم أو إنشاء صورة جديدة لا تصنع زاوية مع محاور الإحداثيات تتسع للصورة القديمة ويتم ملء الفراغ بخلايا فارغة:



الشكل 4-56 خيارات تصدير الصورة في الملحق Raster Design في AutoCAD Map 3D

في الطريقة الثانية يتم تصدير ملف العالم فقط بحيث يسمح بتسجيل الصورة جغرافياً طبقاً للنظام المرجعي WGS 84 / UTM zone 39N، ويكون ذلك من خلال الأمر World File:

Ribbon: Raster Tools > Insert & Write > World File

Command: IWORLDOUT



يمكن في Oracle Spatial استخدام البرنامج الفرعي TRANSFORM_LAYER في حزمة SDO_CS لتحويل البيانات بين نظامين مرجعين للإحداثيات، مع تحديث ما وراء البيانات

(metadata) بإدراج النظام المرجعي الجديد والحدود المكانية الجديدة للبيانات.

بفرض أن الجدول COUNTRY_WGS84 يتضمن البيانات المكانية في الحقل SHAPE يمكن تحويل البيانات في Spatial إلى النظام المطلوب وحفظها في الجدول COUNTRY_WGS84UTM93N بتنفيذ التعليمة التالية:

```
CALL SDO_CS.TRANSFORM_LAYER(
  'COUNTRY_WGS84',
  'SHAPE',
  'COUNTRY_WGS84-UTM-39N',
  32639);
INSERT INTO user_sdo_geom_metadata VALUES ('COUNTRY_WGS84-UTM-93N','SHAPE',
MDSYS.SDO_DIM_ARRAY(
  MDSYS.SDO_DIM_ELEMENT('X', 500000,800000,0.05),
  MDSYS.SDO_DIM_ELEMENT('Y',2500000,2700000,0.05)
),
32639
);
COMMIT;
```

حيث 32639 معرّف النظام المرجعي WGS 84 / UTM zone 39N في Oracle Spatial ويمكن إيجادها في الجدول MDSYS.SDO_COORD_REF_SYS.

يمكن في Oracle Spatial استخدام البرنامج الفرعي REPROJECT في حزمة SDO_GROR لتحويل البيانات المتسامة بين نظامين مرجعين للإحداثيات.

بفرض أن الجدول COUNTRY_WGS84 يتضمن البيانات المتسامة في الحقل GEORASTER وأن معرّف البيانات المتسامة المطلوب تحويلها في الجدول المذكور هو 10 يمكن تحويل هذه البيانات في Spatial إلى النظام المطلوب وحفظها في الجدول COUNTRY_WGS84UTM93N بتنفيذ التعليمات التالية:

```
DECLARE
  g1 SDO_GEORASTER;
  g2 SDO_GEORASTER;
BEGIN
  SELECT georaster INTO g1 from COUNTRY_WGS84 WHERE id=10;
  INSERT INTO COUNTRY_WGS84UTM93N (id, georaster) VALUES (21,
    MDSYS.SDO_GEOR.init ('RDT_1', 21))
  RETURNING georaster INTO g2;
```



```
SDO_GEOR.REPROJECT (g1, 'resampling=CUBIC', 'blocking=TRUE' blocksize=(1024, 1024,
1) interleaving=BSQ', 32639, g2);
UPDATE COUNTRY_WGS84UTM93N SET georaster=g2 WHERE georid=21;
COMMIT;
END;
/
```

بالنسبة لطريقة أخذ العينات (resampling) في المثال أعلاه فهي طريقة الطي التكعيبي.



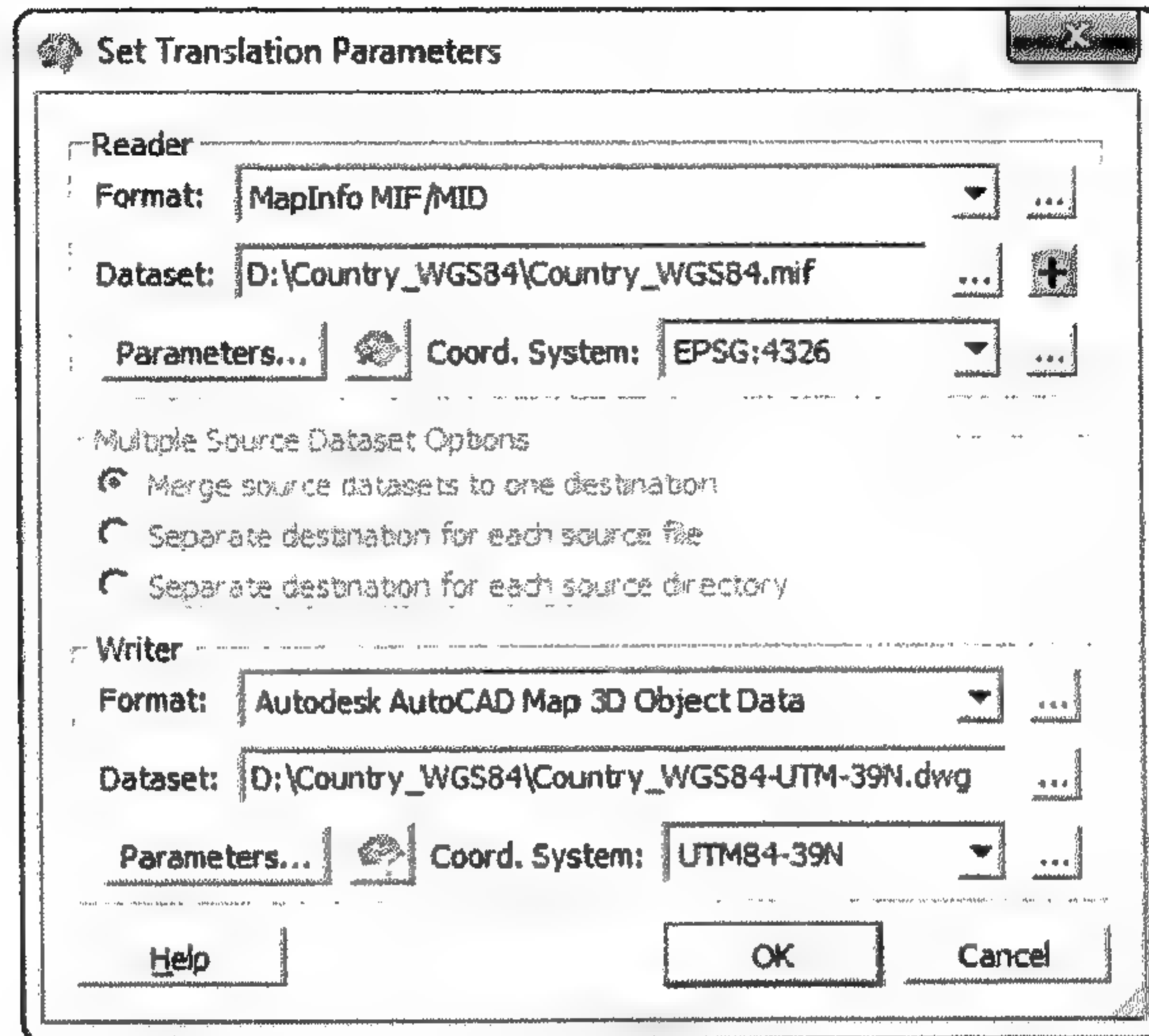
يتوفر في برنامج FME Workbench مجموعة واسعة من المحولات (transformers) التي تقوم بتحويل الإحداثيات بين الأنظمة المرجعية، بما في ذلك التحويل بين الإحداثيات الجغرافية والمسقط على ذات المرجع الجيوديسي. يبين الجدول التالي بعض هذه المحولات:

المحول	الشرح
ESRIReprojector	يحول البيانات المكانية من نظام إحداثيات مرجعي إلى آخر باستخدام مكتبة التحويلات المعرفة في برمجيات ESRI.
Reprojector	يحول البيانات المكانية من نظام إحداثيات مرجعي إلى آخر باستخدام مكتبة التحويلات المعرفة في FME.
CsmapReprojector	يحول البيانات المكانية من نظام إحداثيات مرجعي إلى آخر باستخدام مكتبة CS-MAP مفتوحة المصدر (open source). (أنظر 2.4.1.2 المشروع الفرعي CS-Map).
http://trac.osgeo.org/csmmap	

الجدول 4-6 محولات تحويل الإحداثيات في FME

عند تحويل البيانات في FME Quick Translator أو البرنامج FME Workbench باستخدام المحولات Reprojector و CsmapReprojector تُستخدم طريقة التحويل المعرفة في مكتبة البرنامج بطريقة مشابهة لعمل برنامج Autodesk Map 3D و Oracle Spatial.

المثال التالي يقوم بتحويل بيانات في هيئة MapInfo MIF/MID بنظام الإحداثيات WGS 84 إلى هيئة AutoCAD Map 3D بنظام الإحداثيات المرجعي WGS 84 / UTM zone 39N باستخدام FME Quick Translator:

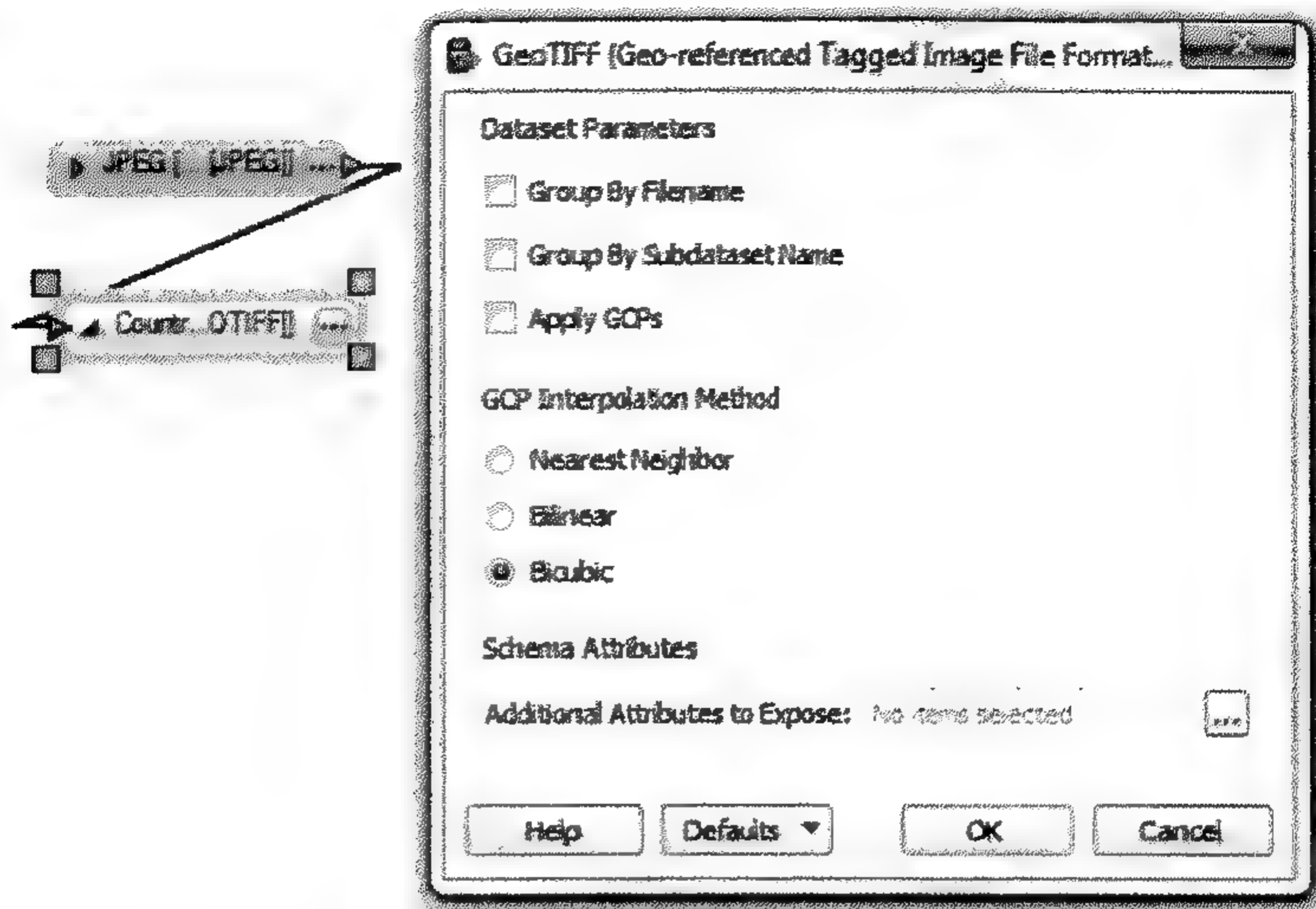


الشكل 4-57 إسقاط البيانات المتجهة في FME Quick Translator

عند تحويل البيانات في FME Workbench باستخدام المحوّل ESRIReprojector يمكن للمستخدم التحكم بطريقة ووسطاء التحويل حسب المكتبة المعرّفة في ArcGIS بطريقة مشابهة للخطوات في برنامج ArcGIS.

بالنسبة للبيانات المتسامطة يمكن باستخدام ذات البرنامج تحويل هذا النوع من البيانات بالطريقة ذاتها، ولكن ذلك لا يسمح بالتحكم بخيارات التحويل مثل تحديد طريقة أخذ العينات، ولذلك يفضل استخدام البرنامج FME Workbench.

المثال التالي يبين كيفية تحويل البيانات Country_WGS84.jpg إلى صورة في هيئة GeoTIFF بنظام الإحداثيات المرجعي WGS 84 / UTM zone 39N مع تحديد الطي التكعيبي طريقة لأخذ العينات أثناء تحويل الصورة:



الشكل 58-4 خيارات إسقاط البيانات المتسامية في FME Workbench

العمليات على الإحداثيات

يطلب العمل في مجال التقنيات المكانية تحويل الإحداثيات بين المراجع الجيوديسية المختلفة، ويكون ذلك في حالات مثل النقل الدولية إلى نظام إحداثيات مرجعي جديد، وتحويل القياسات بنظام تحديد المواقع العالمي الذي يعتمد المعتم الإقليمى WGS 84 إلى النظام المرجعي المحلي، واستخدام بيانات مكانية مسبوقة إلى أنظمة مرجعية مختلفة من جهات مختلفة.

نناقش في هذا الفصل:

- ✓ الفرق بين تعبير الإحداثيات وتحويلها
- ✓ تعبير الإحداثيات: بين الجغرافية وأرضية المركز، وبين الجغرافية والمنقطة
- ✓ تحويل الإحداثيات: في الأنظمة المرجعية للإحداثيات أرضية المركز والجغرافية والرأسية
- ✓ عمليات أخرى على الإحداثيات: لتحويل التشابه والتحويل المتصل والتحويل كثير الحدود

5. العمليات على الإحداثيات

ثمة ثلاثة أنواع رئيسية من العمليات على الإحداثيات:

- **تغيير الإحداثيات (coordinate conversion):** مجموعة العمليات التي تُنفَّذ في المرجع الجيوديسي الواحد، مثل تغيير الإحداثيات الجغرافية (φ, λ, h) إلى إحداثيات أرضية المركز (X, Y, Z) في المرجع الجيوديسي WGS 84، وتتصف هذه العمليات بدقة نتائجها وبخلوها من الأخطاء، وبأنها لا تتطلب وسطاء للتحويل بين المراجع الجيوديسية المختلفة. تُعدّ طرق الإسقاط التي ناقشناها في بحث الإسقاط والتي تقوم بتغيير الإحداثيات الجغرافية إلى إحداثيات مسطرة من أكثر عمليات تغيير الإحداثيات شيوعاً.
- **تحويل الإحداثيات (coordinate transformation):** مجموعة العمليات التي تُنفَّذ بين مرجعين جيوديسيين مختلفين، مثل تحويل الإحداثيات الجغرافية في المرجع الجيوديسي Ain el Abd 1970 إلى الإحداثيات الجغرافية في المرجع الجيوديسي WGS 84. تستخدم عمليات تحويل الإحداثيات عند الانتقال من المرجع الجيوديسي المحلي إلى مرجع جيوديسي أحدث، أو عند استخدام تقنية GPS لقياس الإحداثيات في منطقة تعتمد مرجعاً جيوديسياً محلياً. تتصف عمليات تحويل الإحداثيات بعدم دقة نتائجها نظراً لما تعانيه الشبكات الجيوديسية الوطنية القديمة من خطأ نسبي مرتفع أحياناً. وبالإضافة إلى تحويل الإحداثيات بين المراجع الجيوديسية يتضمن هذا النوع أيضاً تحويل الارتفاعات بين الأنظمة المرجعية للإحداثيات الرأسية، مثل تحويل الارتفاعات الجيوديسية إلى ارتفاعات أورثومتريّة.
- **عمليات أخرى على الإحداثيات:** ثمة مجموعة أخرى من العمليات على الإحداثيات يمكن تصنيفها بين النوعين الرئيسيين السابقين، حيث يمكن استخدام هذه العمليات لتغيير الإحداثيات بين نظامين مرجعيين للإحداثيات المسطرة يعتمدان نظامين مرجعيين مختلفين للإحداثيات الجغرافية (وبالتالي مرجعين جيوديسيين مختلفين)، أو للتحويل بين الإحداثيات الجغرافية لنظامين مرجعيين مختلفين للإحداثيات الجغرافية، كما تستخدم هذه العمليات لتخفيف التشوهات التي تعاني منها بعض البيانات المكانية مثل تصحيح الصور الجوية وصور الأقمار الاصطناعية والخرائط المسقوطة (scanned)، وتصحيح الإحداثيات المقيسة على مرقّم (digitizer) من خريطة ورقية قديمة، بالإضافة إلى محاذاة البيانات المكانية المرسومة في برامج التصميم بالحاسوب (CAD) التي تعتمد نظاماً مرجعياً للإحداثيات الهندسية مع بيانات أخرى تعتمد نظاماً مرجعياً للإحداثيات المسقطة.

- يضاف إلى العمليات السابقة ما يسمى العملية المسلسلة (concatenated operation)، وهي أي عملية مركبة من اثنتين أو أكثر من أي من العمليات المفردة. تهدف سلسلة العمليات في عملية واحدة إلى إنشاء عملية جديدة هي مجموعة من عمليات التحويل المتعاقبة، وتستخدم عندما لا تتوفر عملية واحدة فقط للتحويل مباشرة بين نظامين مرجعيين، أو لأتمتة عمليات التحويل.

المرجع المعتمد في العمليات على الإحداثيات هو قاعدة بيانات EPSG التي تقوم بسرد المعادلات والوسطاء، وتُعدّ قاعدة بيانات EPSG هي المواصفات القياسية ذات الصلة. تبين قاعدة بيانات EPSG ما إذا كانت العملية عكوسة أم لا، وعندما تكون العملية عكوسة فهذا يعني أنها تدعم التحويل المباشر من النظام المرجعي المصدر إلى النظام المرجعي الهدف والتحويل العكسي من النظام المرجعي الهدف إلى النظام المرجعي المصدر، حيث يمكن عكس إشارة الوسطاء لتنفيذ التحويل العكسي.



تتوفر بعض الخدمات الفورية على ويب لتغيير وتحويل الإحداثيات، وتدعم إدخال الإحداثيات يدوياً أو تحميل بيانات مكانية مخزنة في هيئة XML بما في ذلك GML. ومن الأمثلة على هذه الخدمات:

<http://www.opencts.org>

5.1. تغيير الإحداثيات

تتصف عمليات تغيير الإحداثيات بدقة نتائجها وبخلوها من الأخطاء لأنها تُنفَّذ في المرجع الجيوديسي الواحد.

5.1.1. بين الجغرافية وأرضية المركز

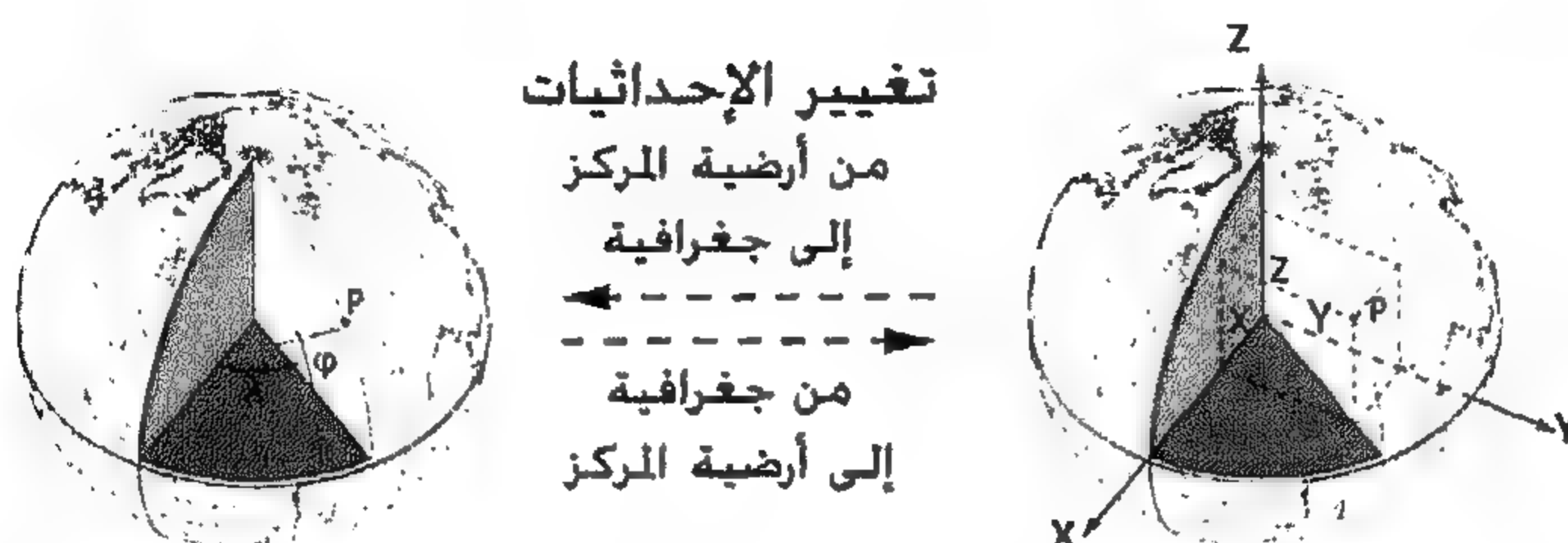
يرمز إلى العملية على الإحداثيات بين الإحداثيات الجغرافية وأرضية المركز في قاعدة بيانات EPSG بالرمز 9602.

تأتي أهمية التحويل من الإحداثيات الجغرافية إلى أرضية المركز وبالعكس من أن بعض طرق تحويل الإحداثيات بين المراجع الجيوديسية لا تعمل مع الإحداثيات الجغرافية بل تتطلب تحويل الإحداثيات الجغرافية إلى أرضية المركز أولاً وإجراء التحويل بين المرجعين الجيوديسيين المصدر

والهدف، ثم تحويل الإحداثيات أرضية المركز الناتجة من عملية التحويل إلى إحداثيات جغرافية مرة أخرى.

إحداثيات جغرافية

إحداثيات أرضية المركز



الشكل 1-5 تغيير الإحداثيات بين الجغرافية وأرضية المركز

على ذات الجسم الإهليلجي يمكن تغيير الإحداثيات الجغرافية لنقطة (φ, λ, h) إلى إحداثيات أرضية المركز (X, Y, Z) كما يلي:

$$\begin{aligned} X &= (v_{\varphi} + h) \cos \varphi \cos \lambda \\ Y &= (v_{\varphi} + h) \cos \varphi \sin \lambda \\ Z &= (v_{\varphi}(1 - e^2) + h) \sin \varphi \end{aligned}$$

حيث e^2 مربع اللا مركزية الأولى للجسم الإهليلجي، و v_{φ} نصف قطر الانحناء في النظم الأعظم (انظر 3.3.1.1 الجسم الإهليلجي).

على ذات الجسم الإهليلجي يمكن تغيير الإحداثيات أرضية المركز لنقطة (X, Y, Z) إلى إحداثيات جغرافية (φ, λ, h) كما يلي:

$$\begin{aligned} \varphi &= \arctan \left(\frac{Z + e'^2 b \sin^3 q}{(p - e^2 a \cos^3 q)} \right) \\ \lambda &= \arctan \left(\frac{Y}{X} \right) \\ h &= \left(\frac{p}{\cos \varphi} \right) - v_{\varphi} \end{aligned}$$

حيث a و b نصف قطري الجسم الإهليلجي الكبير (الاستوائي) والصغير (القطبي)، وحيث e'^2

مربع اللا مركزية الثانية للمجسم الإهليلجي (انظر 3.3.1.1 المجسم الإهليلجي)، وحيث p و q قيمتان تساويان:

$$p = \sqrt{X^2 + Y^2}$$

$$q = \arctan \left(\frac{(Z a)}{(p b)} \right)$$

مشروع:

أوجد الإحداثيات أرضية المركز لكنيسة مار جرجس (Mar Jorjis Church) في مدينة الموصل، علماً بأن الإحداثيات الجغرافية والارتفاع الإهليلجي لها بالنسبة إلى المرجع الجيوديسي WGS 84:

$$\varphi = 36^{\circ}20'26N, \quad \lambda = 43^{\circ}07'31E, \quad h = 249.52 \text{ m}$$

الحل:

ثوابت المجسم الإهليلجي WGS 84:

$$a = 6,378,137.00, \quad b = 6,356,752.3142, \quad e^2 = 0.0066943800$$

من العلاقات السابقة:

$$X = (6,385,647.00 + 249.52)0.587909437 = 3,754,328.82463 \text{ m}$$

$$Y = (6,385,647.00 + 249.52)0.550642627 = 3,516,346.83512 \text{ m}$$

$$Z = (6,385,647.00 \times 0.99330562 + 249.52)0.592583489030$$

$$= 3,758,845.11131 \text{ m}$$

للعودة إلى الإحداثيات الجغرافية:

$$e'^2 = 0.0067394968, \quad p = 5,143,897.35, \quad q = 0.632660185$$

ومن العلاقات السابقة:

$$\varphi = 36^{\circ}20'26N, \quad \lambda = 43^{\circ}07'31E, \quad h = 249.52 \text{ m}$$



تتوفر مجموعة من الأدوات الفورية للتحويل بين الإحداثيات الجغرافية والإحداثيات أرضية المركز على ويب، منها الأدوات المتوفرة على موقع APSalin:

<http://www.apsalin.com/convert-cartesian-to-geodetic.aspx>

<http://www.apsalin.com/convert-geodetic-to-cartesian.aspx>

5.1.2. بين الجغرافية ثلاثية الأبعاد والجغرافية ثنائية الأبعاد

يرمز إلى العملية على الإحداثيات بين الإحداثيات الجغرافية ثنائية وثلاثية الأبعاد في قاعدة بيانات EPSG بالرمز 9659.

يتم تغيير الإحداثيات الجغرافية ثلاثية الأبعاد (φ, λ, h) إلى الإحداثيات الجغرافية ثنائية الأبعاد (φ, λ) ببساطة بحذف الارتفاع الجيوديسي أو الارتفاع الإهليلجي.

التغيير من الإحداثيات الجغرافية ثنائية الأبعاد (φ, λ) إلى الإحداثيات الجغرافية ثلاثية الأبعاد غير محدد. لكن تتطلب بعض المهام تنفيذ هذه الخطوة لاستخدام النتائج في عملية أخرى، وهنا تُفترض قيمة مصطنعة للارتفاع الإهليلجي ما دامت ستُحذف لاحقاً عند العودة إلى الإحداثيات ثنائية الأبعاد. تكون هذه القيمة المصطنعة 0 لجميع النقاط مثلاً، أي $(\varphi, \lambda, 0)$ ، أو تستخدم قيمة الارتفاع الأورثومتري لكل نقطة، أي (φ, λ, H) .

يمكن أيضاً بدلاً من افتراض قيمة مصطنعة تحويل الإحداثيات ثنائية الأبعاد إلى ثلاثية الأبعاد بالاعتماد على نموذج الجيويدي أو نموذج الارتفاع الرقمي (digital elevation model: DEM) وبذلك تكون قيمة الارتفاع مأخوذة من نموذج ثلاثي الأبعاد يمثل منطقة الدراسة. نناقش هذه النماذج لاحقاً في الجزء المتعلق بالبيانات (انظر 5.2.35.2.3 التحويلات في النظام المرجعي للإحداثيات الرأسية).

مشروع:

أوجد الإحداثيات الجغرافية ثنائية الأبعاد للجامع القيروان الكبير (Great Mosque of Kairouan) في مدينة القيروان بتونس، علماً بأن الإحداثيات الجغرافية والارتفاع الإهليلجي لها بالنسبة إلى المرجع الجيوديسي WGS 84:

$$\varphi = 35^{\circ}40'54.01N, \lambda = 10^{\circ}6'13.99E, h = 27.46 m$$

الحل:

يمكن إيجاد الإحداثيات ثنائية الأبعاد بحذف الارتفاع الإهليلجي:

$$\varphi = 35^{\circ}40'54.01"N, \lambda = 10^{\circ}6'13.99"E$$

للعودة إلى الإحداثيات الجغرافية ثلاثية الأبعاد، يمكن عدّ الارتفاع الإهليلجي 0:

$$\varphi = 35^{\circ}40'54.01"N, \lambda = 10^{\circ}6'13.99"E, h = 0$$



يمكن تغيير الإحداثيات بين الجغرافية ثلاثية الأبعاد والجغرافية ثنائية الأبعاد في ArcGIS بتصدير البيانات بأي من أدوات ArcToolbox. كثير من هذه الأدوات توفر إعدادات البيئة (Environment Settings) وهي قيم يتم تطبيقها على نتيجة العملية قبل تنفيذها. إحدى هذه الإعدادات هي Z Values ويمكن التحكم من خلالها بالخيارات التالية:

الخيار	الشرح
Output has Z Values	هل البيانات الناتجة من العملية لها قيمة ارتفاع؟ يتم تحديد ذلك من خلال أحد الخيارات التالية:
	Same As Input : الاحتفاظ بالقيمة الحالية.
	Enabled : تمكين قيمة الارتفاع في البيانات المكانية.
	Disabled : تعطيل قيمة الارتفاع وحذفها من البيانات المكانية.
Default Output Z Value	القيمة الافتراضية للارتفاع التي تُعَيَّن لعُقَد (vertices) الكائنات المكانية. إذا لم يتم تحديد هذه القيمة الافتراضية يفترض ArcGIS القيمة 0 لجميع العقد.

الجدول 1-5 إعدادات البيئة في أدوات ArcToolbox في ArcGIS



لا يمكن حذف قيمة Z من الكائنات في AutoCAD Map 3D وذلك لأن القيمة Z مخصصة (property) (مفرد خصائص) أصيلة لا تنفصل عن الكائنات. يمكن بدلاً من ذلك استخدام

الأمر Flatten لانتقاء بعض أو جميع الكائنات المكانية وتحويل القيمة Z فيها إلى صفر، إذا لم تكن كذلك، وبالتالي تحويلها إلى كائنات ثنائية الأبعاد:

Command: FLATTEN

لتغيير الإحداثيات إلى ثلاثية الأبعاد يمكن ضبط قيمة Z لبعض أو جميع الكائنات بنقلها باستخدام الأمر Move إلى الأعلى أو الأسفل ببساطة. المثال التالي يقوم بنقل نقطة إلى الأعلى 50 متراً، وبالتالي يضبط قيمة Z فيها إلى 50:

Command: MOVE

Select objects:

Select objects: 1 found

Specify base point or [Displacement] <Displacement>: 0,0,0

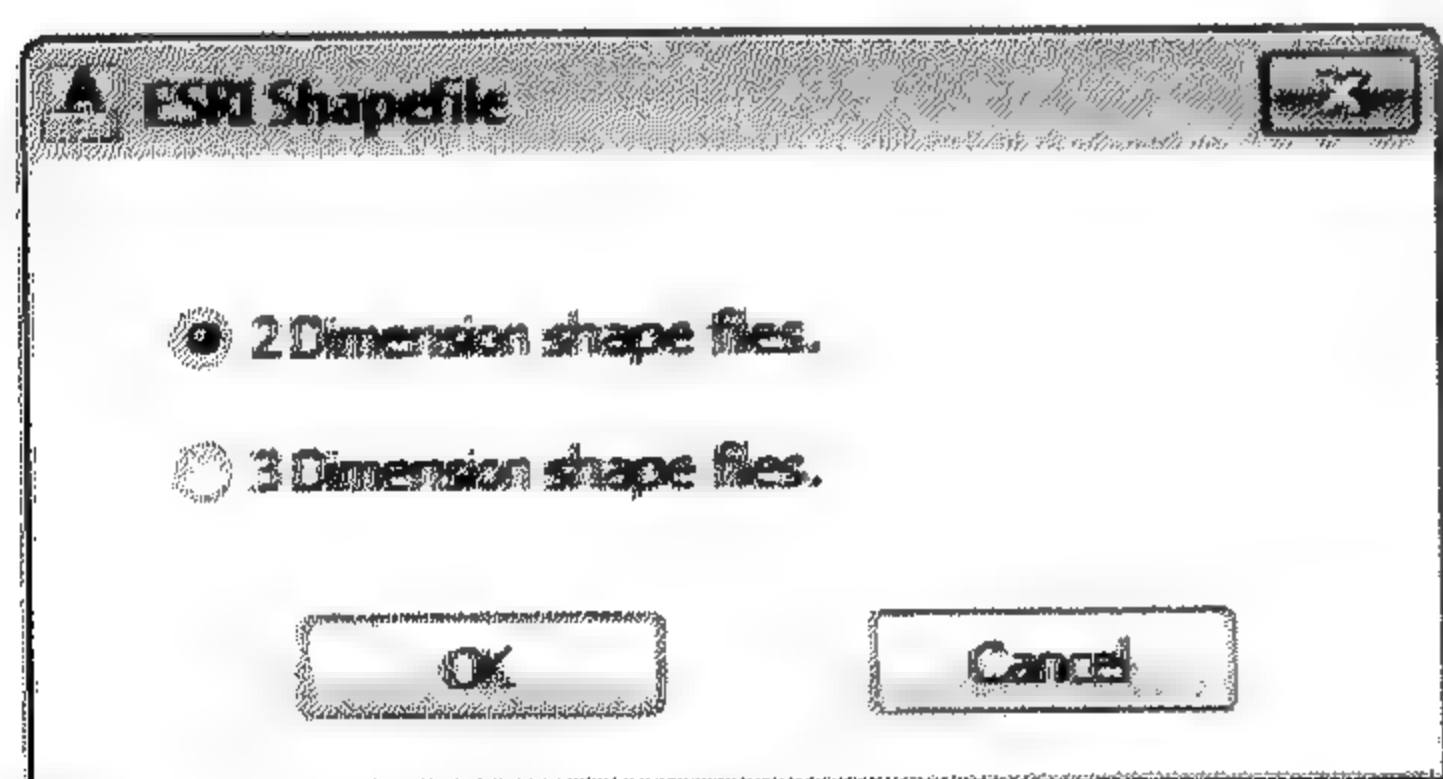
Specify second point or <use first point as displacement>: @ 0,0,50

AutoCAD®
Map 3D

عند تصدير البيانات المكانية في AutoCAD Map 3D إلى هيئة ملفات SHP يمكن التحكم بها إذا كان التحويل سيحافظ على قيمة Z في البيانات الناتجة من التحويل.

Ribbon: Output > Map Data Transfer > Map 3D Export

Command: MAPEXPORT



في صندوق حوار تصدير البيانات، وفي لسان التبويب Options يمكن الوصول إلى خيار التحكم بالقيمة Z بالنقر فوق Driver Options.

الشكل 2-5 التحكم بتصدير قيمة Z في AutoCAD

Map 3D

ORACLE®
SPATIAL

يمكن في Oracle Spatial استخدام البرنامجين الفرعيين MAKE_2D أو MAKE_3D في حزمة SDO_CS لتغيير الإحداثيات بين الجغرافية ثلاثية الأبعاد والجغرافية ثنائية الأبعاد. المثال التالي يقوم

بتحويل معالم ثلاثية الأبعاد إلى معالم ثنائية الأبعاد عن طريق إزالة قيم البعد الثالث (الارتفاع):

```
SELECT SDO_CS.MAKE_2D(SDO_GEOMETRY(3003, 4326, NULL,
SDO_ELEM_INFO_ARRAY(1, 1003, 1),
SDO_ORDINATE_ARRAY(1, 1, 10, 5, 1, 10, 5, 7, 10, 1, 7, 10, 1, 1, 10)))
FROM DUAL;
```

```
SDO_GEOMETRY(2003, 4326, NULL, SDO_ELEM_INFO_ARRAY(1, 1003, 1),
SDO_ORDINATE_ARRAY(1, 1, 5, 1, 5, 7, 1, 7, 1, 1))
```

بالإضافة إلى حذف الارتفاع، لاحظ الفرق بين نوع البيانات الأصلية 3003 (مضلع ثلاثي الأبعاد) ونوع البيانات الناتجة 2003 (مضلع ثنائي الأبعاد).

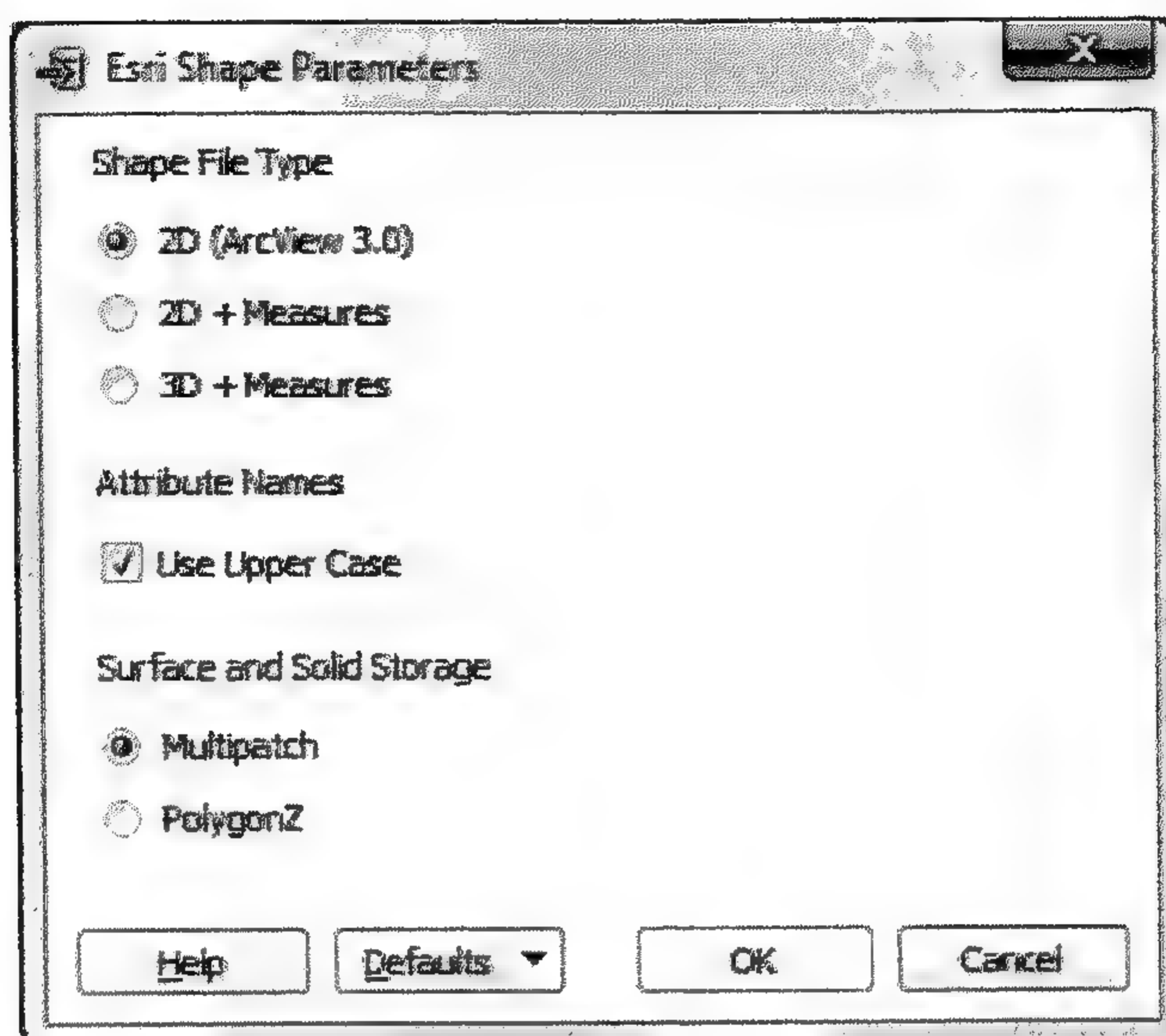


يتوفر في FME محوّلان يقومان بحذف أو إضافة قيمة Z إلى إحداثيات البيانات المكانية:

المحوّل	الشرح
2DForcer	يزيل أي قيمة ارتفاع (Z) في إحداثيات البيانات الأصلية. تتسبب بعض المعالم في حجم تخزين إضافي إذا كانت بيانات ثلاثية الأبعاد، وفي هذه الحالة يمكن استخدام هذا المحوّل لإزالة إحداثيات الارتفاع. بعد مرور البيانات عبر هذا المحوّل تصبح معالم ثنائية الأبعاد.
3DForcer	يحوّل البيانات ثنائية الأبعاد إلى ثلاثية الأبعاد بإضافة قيمة ارتفاع (Z) إلى إحداثياتها. إذا كانت المعالم ثنائية الأبعاد تتحول إلى ثلاثية الأبعاد ذات ارتفاع ثابت، أما إذا كانت هذه المعالم ثلاثية الأبعاد، يتم حذف الارتفاعات السابقة واستبدالها بالقيمة الثابتة التي يحددها المستخدم.

الجدول 2-5 محوّلات إضافة وإزالة قيم الارتفاع في FME

يمكن التحكم بقيمة الارتفاع أيضاً أثناء تحويل البيانات في FME وذلك حسب هيئة الملفات المراد التحويل إليها. المثال التالي يوضح صندوق حوار ESRI Shape Parameters عند تحويل البيانات إلى هيئة ملفات SHP:



الشكل 3-5 صندوق حوار ESRI Shape Parameters في FME

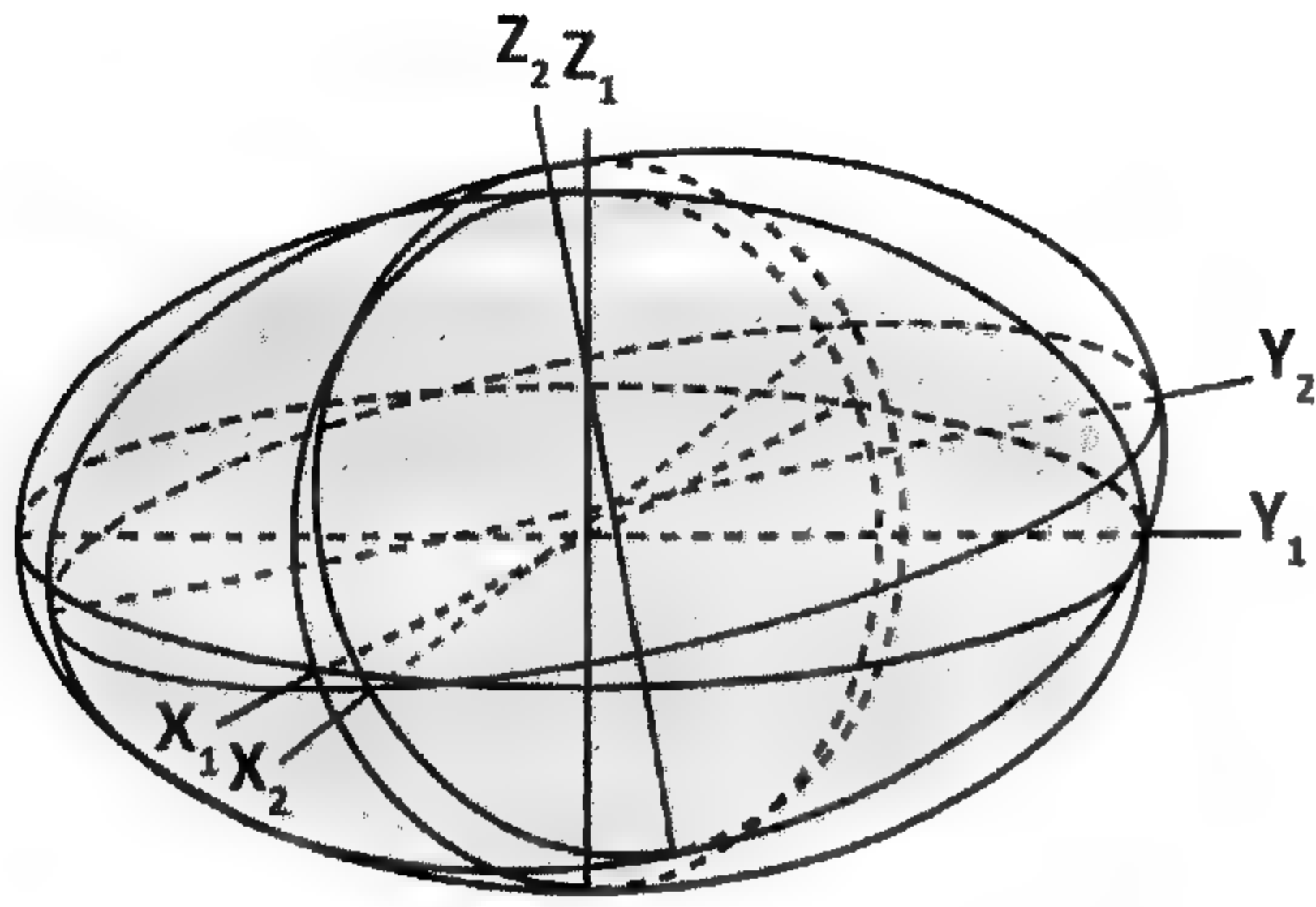
5.1.3. بين الجغرافية والمُسقطَة

تشكل طرق الإسقاط مجموعة واسعة من العمليات على العمليات، حيث تقوم هذه العمليات بتحويل الإحداثيات الجغرافية إلى مسقطَة (العلاقات المباشرة) أو الإحداثيات المسقطَة إلى جغرافية (العلاقات العكسية)، ناقشناها في فصل الإسقاط والنظام المرجعي للإحداثيات المسقطَة (انظر 4.11.3 إسقاط البيانات المكانية وتحويلها).

5.2. تحويل الإحداثيات

يتطلب العمل في مجال التقنيات المكانية تحويل الإحداثيات بين المراجع الجيوديسية المختلفة، ويكون ذلك في حالات مثل:

- انتقال الدولة إلى نظام إحداثيات مرجعي جديد يعتمد مرجعاً مختلفاً، ما يتطلب تحويل البيانات المكانية الحالية إلى ذلك النظام.
- تحويل بيانات من الأرشف لا تتوافق مع النظام المرجعي المعمول به حالياً.
- استخدام تقنية نظام تحديد المواقع العالمي الذي يعتمد الجسّم الإهليلجي WGS 84، ما يتطلب تحويل الإحداثيات المقيسة عليه إلى النظام المرجعي المعمول به.
- استخدام بيانات مكانية منسوبة إلى أنظمة مرجعية مختلفة من جهات مختلفة.



الشكل 4-5 التحويل بين المجسمات الإهليلجية

ملاحظة مهمة: تعمل بعض تحويلات الإحداثيات مع الإحداثيات أرضية المركز (X, Y, Z) فقط، ولذلك تتطلب تغيير الإحداثيات الجغرافية (ϕ, λ, h) إلى أرضية المركز أولاً (انظر 5.1.1 بين الجغرافية وأرضية المركز) وتنفيذ التحويل عليها من المجسم الإهليلجي المصدر إلى المجسم الإهليلجي الهدف، ثم تغيير الإحداثيات أرضية المركز الناتجة من عملية التحويل إلى إحداثيات جغرافية مرة أخرى، بينما تعمل بعض التحويلات على الإحداثيات الجغرافية مباشرة، ومن السهل تمييز ذلك من صيغة معادلة التحويل.

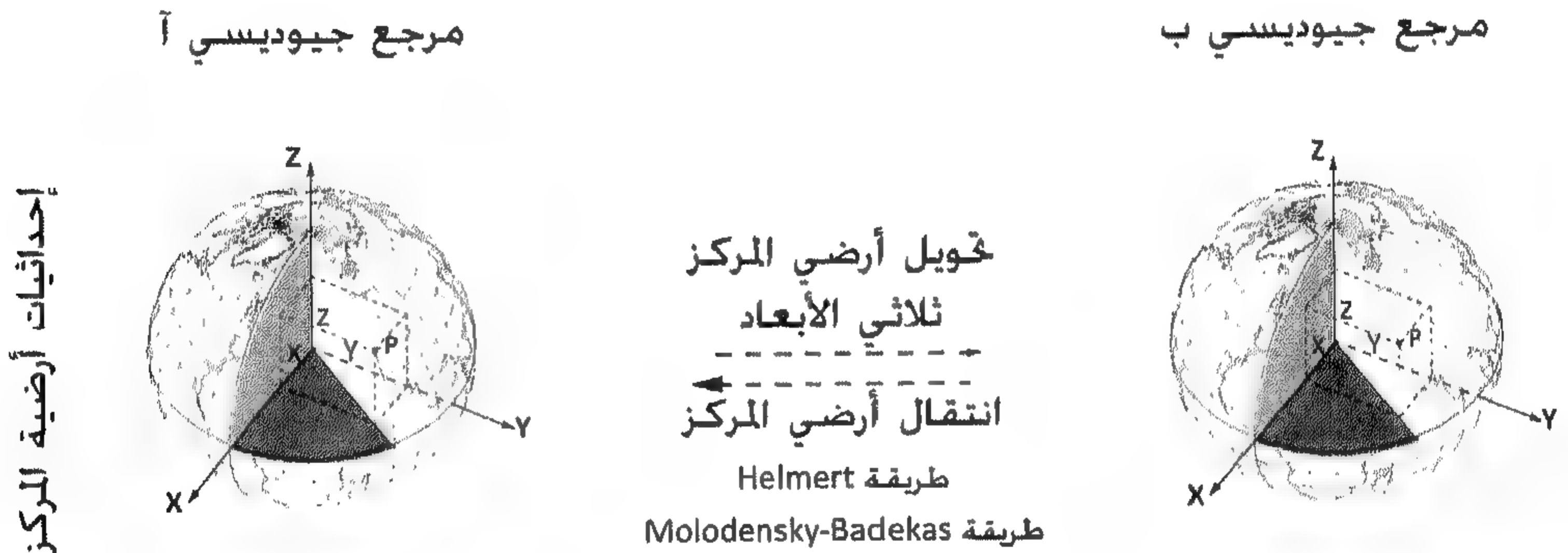
بالإضافة إلى تحويل الإحداثيات بين المراجع الجيوديسية يتضمن هذا النوع من العمليات تحويل الارتفاعات بين المراجع الرأسية، مثل تحويل الارتفاعات الجيوديسية إلى ارتفاعات أورثومتريّة. ثمة أسلوبان أساسيان لتحويل الإحداثيات بين المراجع، هما التحويل المعتمد على معادلة والتحويل المعتمد على شبكة:

- **التحويل المعتمد على معادلة (equation-based transformation):** تستخدم في هذا الأسلوب معادلات رياضية للانتقال من مرجع إلى آخر، باستخدام وسطاء التحويل التي تفسّر الفرق بين المرجعين تفسيراً هندسياً.
- **التحويل المعتمد على شبكة (grid-based transformation):** تُقسم المنطقة المراد تحويلها إلى شبكة من الخلايا (cells) ثم تُسجّل الفروق بين الإحداثيات المنسوبة إلى النظامين المرجعيين في كل خلية، ويُكرّر تسجيل الفروق ضمن الخلية الواحدة عدة مرات على مسافات متساوية، ثم إنشاء نموذج بهذه الفروق في معادلة رياضية، وبدلاً من الوسطاء يتطلب التحويل المعتمد على الشبكة ملفاً (قاعدة بيانات) توفرها الجهة المختصة. تُحوّل إحداثيات أي نقطة من مجسم إلى آخر بالاعتماد على نموذج الفروق وباستخدام طريقة الاستكمال الداخلي ثنائي الخطية (bi-linear interpolation).

يؤخذ على طرق التحويل المعتمد على معادلة أن العلاقة بين المراجع صحيحة من الناحية النظرية فقط، لكن الإحداثيات في الواقع تكون مقيسة ومنسوبة إلى نقاط الشبكة الجيوديسية الوطنية (انظر 3.6 الشبكة الجيوديسية الوطنية) التي تعاني من خطأ نسبي مرتفع أحياناً، ما يعني أن نتائج التحويل بين المراجع باستخدام هذه المعادلات ستعاني من خطأ نسبي أيضاً. في المقابل تُعدّ طريقة التحويل المعتمد على شبكة أكثر دقة بصورة عامة من طرق التحويل المعتمد على معادلة، وقد تصل دقتها إلى 0.1 من المتر، في مقابل طرق التحويل الأخرى المعتمدة على معادلة والتي تصل الدقة فيها إلى 10 إلى 30 متراً، كما تتميز هذه طرق التحويل المعتمد على شبكة بسهولة التطبيق.

5.2.1. التحويلات في النظام المرجعي للإحداثيات أرضية المركز

تعمل هذه التحويلات في النظام المرجعي للإحداثيات أرضية المركز وهي الانتقال أرضي المركز وطريقة Helmert وطريقة Molodensky-Badekas:



الشكل 5-5 التحويلات في النظام المرجعي للإحداثيات أرضية المركز

5.2.1.1. الانتقال أرضي المركز

يرمز إلى الانتقال أرضي المركز (geocentric translation) في قاعدة بيانات EPSG بالعملية 1031 على الإحداثيات.

الانتقال أرضي المركز أو طريقة الوسطاء الثلاثة (three-parameter method) هي أبسط أنواع التحويلات، ويفترض توازي المحاور بين الجسّمين الإهليلجيين وأن خط الزوال الرئيسي هو خط زوال غرينيتش، وأن الفرق بين الجسّمين الإهليلجيين يقتصر على وجود انزياح بين مركزيهما:

الوسطاء المطلوبة	
$\Delta X (m)$	الانزياح بين مركزي الجسمين الإهليلجيين على محور X (translation parameters) (متر)
$\Delta Y (m)$	الانزياح بين مركزي الجسمين الإهليلجيين على محور Y (متر)
$\Delta Z (m)$	الانزياح بين مركزي الجسمين الإهليلجيين على محور Z (متر)
الوسطاء المستنتجة	
لا يوجد	

الجدول 3-5 وسطاء الانتقال أرضي المركز أو طريقة الوسطاء الثلاثة

يُعدّ مركز أحد الجسمين في النقطة (0,0,0)، ويتم تحليل انزياح مركز الجسم الثاني بالنسبة إليه إلى ثلاث مركبات ΔX و ΔY و ΔZ ، تسمى وسطاء الانتقال، تكون قيمة كل واحد منها قيمة خطية تقاس بالمتر. يمكن تحويل الإحداثيات من النظام المصدر (source) إلى النظام الهدف (target) كما يلي:

$$X_T = X_S + \Delta X$$

$$Y_T = Y_S + \Delta Y$$

$$Z_T = Z_S + \Delta Z$$

حيث X_S الإحداثي X في النظام المصدر، و X_T الإحداثي X في النظام الهدف، وهكذا.

ملاحظة: الوسطاء المستخدمة في هذه الطريقة هي ذات الوسطاء المستخدمة في طريقة Molodensky المختصرة، ويضاف إلى الأخيرة فرق نصف القطر الكبير والتفلطح بين الجسمين الإهليلجيين (انظر 5.2.2.1 طريقة Molodensky المختصرة).

مشروع:

يراد تحويل نقطة من مطار الغردقة الدولي إحداثياتها الجغرافية في النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية Egypt 1907 (رمزه 4229 في EPSG) المبني على الجسم الإهليلجي Helmert 1906:

$$\varphi_S = 27^\circ 11' 21.86N, \quad \lambda_S = 33^\circ 48' 17.13E, \quad h_S = -37.13 m$$

التحويل المطلوب إلى نظام الإحداثيات المرجعي WGS 84، حيث وسطاء التحويل لهذه المنطقة من مصر من Egypt 1907 إلى WGS 84 (عملية تحويل الإحداثيات رقم 1148 في قاعدة بيانات EPSG):

$$\Delta X = -130 \text{ m}, \Delta Y = +110 \text{ m}, \Delta Z = -13 \text{ m}$$

الحل:

نقوم أولاً بتحويل الإحداثيات الجغرافية إلى أرضية المركز:

$$X_S = 4,717,527.34 \text{ m}, Y_S = 3,158,676.68 \text{ m}, Z_S = 2,896,913.58 \text{ m}$$

وبتطبيق المعادلات المذكورة أعلاه:

$$X_T = 4,717,527.34 - 130 = 4,717,397.335 \text{ m}$$

$$Y_T = 3,158,676.68 + 110 = 3,158,786.685 \text{ m}$$

$$Z_T = 2,896,913.58 - 13 = 2,896,900.577 \text{ m}$$

وهي الإحداثيات أرضية المركز للنقطة في WGS 84. نقوم بتحويل هذه الإحداثيات إلى إحداثيات جغرافية مرة أخرى:

$$\varphi_T = 27^\circ 11' 22.255 \text{ N}, \lambda_T = 33^\circ 48' 23.079 \text{ E}, h_T = -21.12 \text{ m}$$

5.2.1.2 طريقة Helmert

تسمى طريقة Helmert أيضاً طريقة الوسطاء السبعة (seven-parameter method) أو طريقة Bursa-Wolf. تُعدّ هذه الطريقة أكثر صعوبة ولكنها أكثر دقة من سابقتها، وتفترض عدم توازي محاور المحسّمين الإهليلجيين. يضاف إلى وسطاء الانتقال الثلاثة في الطريقة السابقة أربعة وسطاء إضافية هي الزوايا التي تصنعها محاور المحسّمين الإهليلجيين R_x و R_y و R_z ، وهي قيم زاوية تقاس بالثانية، أما الوسيط السابع فهو الفرق بين حجمي المحسّمين الإهليلجيين ويقدر بجزء في المليون:

الوسطاء المطلوبة

ΔX (m)	الانزياح بين مركزي المجسمين الإهليلجيين على محور X (متر)	(1) وسطاء الانتقال (translation parameters)
ΔY (m)	الانزياح بين مركزي المجسمين الإهليلجيين على محور Y (متر)	
ΔZ (m)	الانزياح بين مركزي المجسمين الإهليلجيين على محور Z (متر)	
R_X (sec)	زاوية الدوران بين محوري X بين المجسمين الإهليلجيين (ثانية)	(2) وسطاء الدوران (rotation parameters)
R_Y (sec)	زاوية الدوران بين محوري Y بين المجسمين الإهليلجيين (ثانية)	
R_Z (sec)	زاوية الدوران بين محوري Z بين المجسمين الإهليلجيين (ثانية)	
ΔS (ppm)	الفرق بين حجمي المجسمين الإهليلجيين (جزء في المليون)	(3) عامل الحجم (scale factor)

الوسطاء المستنتجة

لا يوجد

الجدول 4-5 وسطاء طريقة Helmert أو طريقة الوسطاء السبعة

في أوروبا تُعرّف زوايا الدوران بقيم موجبة مع عقارب الساعة وتسمى طريقة الوسطاء السبعة تحويل متجه الموقع (position vector transformation). يرمز إلى هذه الطريقة في قاعدة بيانات EPSG بالعملية 1033 على الإحداثيات. ويكون الشكل العام لها في هذه الحالة:

$$\begin{pmatrix} X_T \\ Y_T \\ Z_T \end{pmatrix} = M \begin{pmatrix} 1 & -R_Z & +R_Y \\ +R_Z & 1 & -R_X \\ -R_Y & +R_X & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_S \\ Y_S \\ Z_S \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix}$$

أي:

$$\begin{aligned} X_T &= M(X_S - R_Z Y_S + R_Y Z_S) + \Delta X \\ Y_T &= M(+R_Z X_S + Y_S - R_X Z_S) + \Delta Y \\ Z_T &= M(-R_Y X_S + R_X Y_S + Z_S) + \Delta Z \end{aligned}$$

حيث:

$$M = 1 + (\Delta S 10^{-6})$$

أما في الولايات المتحدة وأستراليا ودول أخرى فتُعرّف زوايا الدوران بقيم موجبة عكس عقارب الساعة وتسمى طريقة الوسطاء السبعة التحويل الدوراني لإطار الإحداثيات

(coordinate frame rotation transformation). يرمز إلى هذه الطريقة في قاعدة بيانات EPSG بالعملية 1032 على الإحداثيات. ويكون الشكل العام لها في هذه الحالة:

$$\begin{pmatrix} X_t \\ Y_t \\ Z_t \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & +R_z & -R_y \\ -R_z & 1 & +R_x \\ +R_y & -R_x & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_s \\ Y_s \\ Z_s \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix}$$

الطريقة المفضلة في المواصفة القياسية ISO 19111 هي تحويل متجه الموقع.

ملاحظة: يمكن أن يطلق على حالات خاصة من طريقة الوسطاء السبعة أسماء أخرى تعكس قيم الوسطاء، فإذا كانت وسطاء الدوران معدومة القيمة مثلاً، تسمى طريقة الوسطاء الأربعة (ثلاثة وسطاء للانتقال وعامل الحجم) وهكذا.

مشروع:

يراد تحويل نقطة من مدينة المرفأ في المنطقة الغربية بإمارة أبو ظبي إحداثياتها الجغرافية في النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية Nahrwan 1967 المعتمد على المجسم الإهليلجي Clarke 1880 (RGS):

$$\varphi_s = 24^\circ 5' 53.08N, \lambda_s = 53^\circ 28' 33.46E, h_s = 80.91 m$$

التحويل المطلوب إلى نظام الإحداثيات المرجعي WGS 84، حيث وسطاء التحويل لهذه المنطقة من إمارة أبو ظبي من Nahrwan 1967 إلى WGS 84 (عملية تحويل الإحداثيات رقم 15938 في قاعدة بيانات EPSG):

$$\Delta X = -225.4 m, \Delta Y = -158.7 m, \Delta Z = +380.8 m$$

$$R_x = 0 sec, R_y = 0 sec, R_z = +0.814 sec$$

$$\Delta S = -0.38 ppm$$

الحل:

نقوم أولاً بتحويل الإحداثيات الجغرافية إلى أرضية المركز:

$$X_s = 3,467,253.20 m, Y_s = 4,681,614.59 m, Z_s = 2,588,021.22 m$$

وبتطبيق المعادلات المذكورة أعلاه:

$$X_T = 3,467,008.01 \text{ m}, Y_T = 4,681,467.80 \text{ m}, Z_T = 2,588,401.04 \text{ m}$$

وهي الإحداثيات أرضية المركز للنقطة في WGS 84. نقوم بتحويل هذه الإحداثيات إلى إحداثيات جغرافية مرة أخرى:

$$\varphi_T = 24^\circ 5' 59.4'' N, \lambda_T = 53^\circ 28' 37.34'', h_T = 49.13 \text{ m}$$



تتوفر العديد من الأدوات لتحويل الإحداثيات بين مرجعين جيوديسيين باستخدام طريقة الوسطاء السبعة بإدخال إحداثيات النقطة ومعلومات المرجعين الجيوديسيين ووسطاء التحويل مثل برنامج Datum Transformation الذي يمكن تنزيله من موقع كلية علوم المعلومات الجغرافية ومراقبة الأرض في جامعة Twente:

<http://www.itc.nl/ilwis/downloads/tools/geodeticTools.asp>

5.2.1.3 طريقة Molodensky-Badekas

وتسمى أيضاً طريقة الوسطاء العشرة (ten-parameter method)، وهي أسلوب شبيه بطريقة الوسطاء السبعة، ويضاف إليها ثلاثة وسطاء هي إحداثيات نقطة أصل المرجع X_p و Y_p و Z_p التي تم تدوير الجسم الإهليلجي حولها (انظر 3.3.1.4 المرجع الجيوديسي المحلي):

الوسطاء المطلوبة

$\Delta X \text{ (m)}$	الانزياح بين مركزي الجسمين الإهليلجين على محور X (متر)	(1) وسطاء الانتقال
$\Delta Y \text{ (m)}$	الانزياح بين مركزي الجسمين الإهليلجين على محور Y (متر)	(translation parameters)
$\Delta Z \text{ (m)}$	الانزياح بين مركزي الجسمين الإهليلجين على محور Z (متر)	
$R_x \text{ (sec)}$	زاوية الدوران بين محوري X بين الجسمين الإهليلجين (ثانية)	(2) وسطاء الدوران
$R_y \text{ (sec)}$	زاوية الدوران بين محوري Y بين الجسمين الإهليلجين (ثانية)	(rotation parameters)
$R_z \text{ (sec)}$	زاوية الدوران بين محوري Z بين الجسمين الإهليلجين (ثانية)	
$\Delta S \text{ (ppm)}$	الفرق بين حجمي الجسمين الإهليلجين (جزء في المليون)	(3) عامل الحجم (scale factor)
X_p	إحداثيات مبدأ الدوران (نقطة الإهليلجي حولها (متر) تم تدوير الجسم	(4) إحداثيات مبدأ الدوران (نقطة أصل المرجع)

الوسطاء المطلوبة

- (4) إحداثيات مبدأ الدوران (نقطة إحداثي Y لنقطة أصل المرجع التي تم تدوير الجسم Y_p أصل المرجع) الإهليلجي حولها (متر)
- (5) إحداثيات Z لنقطة أصل المرجع التي تم تدوير الجسم Z_p الإهليلجي حولها (متر)

الوسطاء المستنتجة

لا يوجد

الجدول 5-5 وسطاء طريقة Molodensky-Badekas أو طريقة الوسطاء العشرة

يرمز إلى هذه الطريقة في قاعدة بيانات EPSG بالعمليّة 1034 على الإحداثيات:

$$\begin{pmatrix} X_T \\ Y_T \\ Z_T \end{pmatrix} = M \begin{pmatrix} 1 & +R_Z & -R_Y \\ -R_Z & 1 & +R_X \\ +R_Y & -R_X & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_S - X_P \\ Y_S - Y_P \\ Z_S - Z_P \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} X_P \\ Y_P \\ Z_P \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix}$$

أي:

$$X_T = M((X_S - X_P) + R_Z (Y_S - Y_P) - R_Y (Z_S - Z_P)) + X_P + \Delta X$$

وهكذا.

مشروع:

يراد تحويل نقطة من فنزويلا إحداثياتها الجغرافية في النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية La Canoa المبني على الجسم الإهليلجي International 1924:

$$\varphi_S = 9^\circ 35' 00.386'' N, \lambda_S = 66^\circ 04' 48.091'' W$$

التحويل المطلوب إلى نظام الإحداثيات المرجعي REGVEN المبني على الجسم الإهليلجي WGS 84، حيث وسطاء التحويل لهذه المنطقة من فنزويلا من La Canoa إلى REGVEN (عملية تحويل الإحداثيات رقم 1771 في قاعدة بيانات EPSG):

$$\Delta X = -270.933 \text{ m}, \Delta Y = +115.599 \text{ m}, \Delta Z = -360.226 \text{ m}$$

$$R_X = -5.266 \text{ sec}, R_Y = -1.238 \text{ sec}, R_Z = +2.381 \text{ sec}$$

$$\Delta S = -5.109 \text{ ppm}$$

$$X_P = 2464351.59 \text{ m}, Y_P = -5783466.61 \text{ m}, Z_P = 974809.81 \text{ m}$$

الحل:

نقوم أولاً بتحويل الإحداثيات الجغرافية ثنائية الأبعاد إلى إحداثيات جغرافية ثلاثية الأبعاد، وفي هذا المثال اخترنا الارتفاع الأورثومتري للنقطة:

$$\varphi_S = 9^\circ 35' 00.386N, \lambda_S = 66^\circ 04' 48.091W, h_S = 201.46 \text{ m}$$

نقوم بعد ذلك بتحويل الإحداثيات الجغرافية إلى أرضية المركز:

$$X_S = 2,550,408.96 \text{ m}, Y_S = -5,749,912.26 \text{ m}, Z_S = 1,054,891.11 \text{ m}$$

وبتطبيق المعادلات المذكورة أعلاه:

$$X_T = 2,550,138.46 \text{ m}, Y_T = -5,749,799.87 \text{ m}, Z_T = 1,054,530.82 \text{ m}$$

وهي الإحداثيات أرضية المركز للنقطة في REGVEN. نقوم بتحويل هذه الإحداثيات إلى إحداثيات جغرافية مرة أخرى:

$$\varphi_T = 24^\circ 5' 59.4N, \lambda_T = 53^\circ 28' 37.34W, h_T = 180.51 \text{ m}$$

وبما أن الإحداثيات الجغرافية الأصلية للنقطة ثنائية الأبعاد نقوم بإسقاط الارتفاع الإهليلجي:

$$\varphi_T = 24^\circ 5' 59.4"N, \lambda_T = 53^\circ 28' 37.34"W$$

5.2.2. التحويلات في النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية

تعمل هذه التحويلات في النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية مباشرة من دون تحويل الإحداثيات إلى أرضية المركز أولاً، وهي طريقة Molodensky وطريقة Molodensky المختصرة منها والإزاحة الجغرافية والإزاحة الجغرافية المعتمدة على شبكة والتحويل كثير الحدود. سنناقش التحويل كثير الحدود لاحقاً (انظر 5.3.8 التحويل كثير الحدود):



الشكل 5-6 التحويلات في النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية

5.2.2.1 طريقة Molodensky المختصرة

يرمز إلى طريقة Molodensky في قاعدة بيانات EPSG بالرمز 9604. ويمكن الاستعاضة عنها بطريقة مولودينسكي المختصرة (Abridged Molodensky) التي يرمز لها في قاعدة بيانات EPSG بالعمليّة 9605 على الإحداثيات. تُنفّذ طريقة Molodensky المختصرة على الإحداثيات الجغرافية (φ, λ, h) مباشرة دون الحاجة إلى تحويلها إلى إحداثيات أرضية المركز:

الوسطاء المطلوبة

(1) وسطاء الانتقال (translation parameters)	
$\Delta X (m)$	الانزياح بين مركزي المجسمين الإهليلجيين على محور X (متر)
$\Delta Y (m)$	الانزياح بين مركزي المجسمين الإهليلجيين على محور Y (متر)
$\Delta Z (m)$	الانزياح بين مركزي المجسمين الإهليلجيين على محور Z (متر)

الوسطاء المستنتجة

(2) فروق وسطاء المجسم	
$\Delta a (m)$	فرق نصف القطر الكبير بين المجسمين الإهليلجيين (متر)
Δf	الفرق بين تفلطحي المجسمين الإهليلجيين
	يتم استنتاج هذه الفروق من وسطاء المجسمين الإهليلجيين a و f .

الجدول 5-6 وسطاء طريقة Molodensky المختصرة

لاحظ أن وسطاء طريقة Molodensky المختصرة هي ذات الوسطاء المستخدمة في الانتقال أرضي المركز، ويضاف إلى ذلك فرق نصف القطر الكبير والتفلطح بين المجسمين الإهليلجيين.

$$\varphi_T = \varphi_S + \Delta\varphi$$

$$\lambda_T = \lambda_S + \Delta\lambda$$

$$h_T = h_S + \Delta h$$

حيث:

$$\begin{aligned} \Delta\varphi (sec) = & (-\Delta X \sin \varphi_S \cos \lambda_S \\ & - \Delta Y \sin \varphi_S \sin \lambda_S + \Delta Z \cos \varphi_S + (a_S \Delta f + f_S \Delta a) \sin(2 \varphi_S)) \\ & /(\rho_S \sin 1'') \end{aligned}$$

$$\Delta\lambda (sec) = (-\Delta X \sin \lambda_S + \Delta Y \cos \lambda_S) / (v_S \cos \varphi_S \sin 1'')$$

$$\begin{aligned} \Delta h = & \Delta X \cos \varphi_S \cos \lambda_S \\ & + \Delta Y \cos \varphi_S \sin \lambda_S + \Delta Z \sin \varphi_S + (a_S \Delta f + f_S \Delta a) \sin^2 \varphi_S - \Delta a \end{aligned}$$

وحيث:

ρ_S : نصف قطر الانحناء لخط الزوال عند زاوية العرض φ

v_S : نصف قطر الانحناء في الناظم الأعظم في المجسم الإهليلجي المصدر (انظر 3.3.1.1 المجسم الإهليلجي).

وفيما يلي جدول بوسطاء التحويل للمراجع المحلية للبلدان العربية إلى المرجع الجيوديسي WGS 84 يمكن استخدامها مع طريقة Molodensky المختصرة. قامت بحساب هذه الوسطاء وكالة الاستخبارات الجيومكانية الوطنية (NGA)، مرتبة حسب رموزها أبجدياً، مع بيان عدد المحطات المستخدمة في إيجاد قيم الوسطاء:

وسطاء التحويل (مع بيان الدقة)			المجسم الإهليلجي المرجعي وفروق الوسطاء		المرجع الجيوديسي المحلي		
ΔZ	ΔY	ΔX	$\Delta f \times 10^{-4}$	Δa	الاسم	الرمز	الاسم
(m)	(m)	(m)		(m)			
+205 +/- 3	-14 +/- 5	-161 +/- 3	-0.54750714	-112.145	Clarke 1880	ADI-B	ADINDAN السودان
45 +/-25	-163 +/-25	-43 +/-25	0.00480795	-108	Krassowsky 1940	AFG	AFGOOYE الصومال
-1 +/-25	-250 +/-25	-150 +/-25	-0.14192702	-251	International 1924	AIN-A	AIN EL ABD 1970 جزيرة البحرين
7 +/-10	-236 +/-10	-143 +/-10	-0.14192702	-251	International 1924	AIN-B	AIN EL ABD 1970 السعودية
431 +/- 8	6 +/-9	-263 +/- 6	-0.54750714	-112.145	Clarke 1880	CGE	CARTHAGE تونس
-151 +/-8	-117 +/-8	-130 +/-6	-0.14192702	-251	International 1924	EUR-F	EUROPEAN 1950 مصر
-141	-106	-103	-0.14192702	-251	International 1924	EUR-S	EUROPEAN 1950 سوريا، لبنان، فلسطين، الأردن، العراق، الكويت، والسعودية
-145 +/-25	-77 +/-25	-112 +/-25	-0.14192702	-251	International 1924	EUR-T	EUROPEAN 1950 تونس
224 +/-9	-1 +/-3	-346 +/-3	-0.54750714	-112.145	Clarke 1880	FAH	OMAN عمان
47 +/-3	146 +/-3	31 +/-5	-0.54750714	-112.145	Clarke 1880	MER	MERCHICH المغرب
369 +/-25	-148 +/-25	-247 +/-25	-0.54750714	-112.145	Clarke 1880	NAH-A	NAHRWAN جزيرة مصيرة (عمان)
-13 +/-8	+110 +/-6	-130 +/-3	0.00480795	-63	Helmert 1906	OEG	OLD EGYPTIAN 1907 مصر
-22 +/-20	-283 +/-20	-128 +/-20	-0.14192702	-251	International 1924	QAT	QATAR NATIONAL قطر
381 +/-25	-156 +/-25	-249 +/-25	-0.54750714	-112.145	Clarke 1880	NAH-B	NAHRWAN الإمارات
477 +/-20	-192 -20	-243 +/-20	-0.54750714	-112.145	Clarke 1880	NAH-C	NAHRWAN السعودية
227	-247	-73	-0.54750714	-112.145	Clarke 1880	VOI	VOIROL 1874 الجزائر وتونس
219 +/-25	-206 +/-25	-123 +/-25	-0.54750714	-112.145	Clarke 1880	VOR	VOIROL 1960 الجزائر

الجدول 5-7 وسطاء التحويل إلى المرجع الجيوديسي WGS 84 للبلدان العربية (عن NGA)

مشروع:

لنعد إلى مثال مطار الغردقة الدولي الذي ذكرناه في طريقة الوسطاء الثلاثة، وسنقوم بحله بطريقة Molodensky المختصرة لمقارنة النتائج بين الطريقتين.

هذه النقطة من مطار الغردقة الدولي إحداثياتها الجغرافية في النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية Egypt 1907 المبني على المجسم الإهليلجي Helmert 1906:

$$\varphi_S = 27^\circ 11' 21.86N, \lambda_S = 33^\circ 48' 17.13E, h_S = -37.13 m$$

التحويل المطلوب إلى نظام الإحداثيات المرجعي WGS 84، حيث وسطاء التحويل لهذه المنطقة من مصر من Egypt 1907 إلى WGS 84 (عملية تحويل الإحداثيات رقم 1148 في قاعدة بيانات EPSG):

$$\Delta X = -130 m, \Delta Y = +110 m, \Delta Z = -13 m$$

الحل:

نقوم أولاً بحساب الفروق بين المجسمين الإهليلجين:

$$\Delta a = 6,378,137.00 - 6,378,200.00 = -63 m$$

$$\Delta f = 0.003352810671831 - 0.003352329810918 = 0.00480861 \times 10^4$$

نقوم الآن بحساب ρ_S و v_S :

$$\rho_S = 0.997904472, v_S = 6382661.47$$

نقوم بعد ذلك بحساب $\Delta\varphi$ و $\Delta\lambda$ و Δh :

$$\Delta\varphi = 0.3948169'', \Delta\lambda = 5.9484912'', \Delta h = 16.0080378 m$$

وتطبيق المعادلات:

$$\varphi_T = \varphi_S + \Delta\varphi$$

$$\lambda_T = \lambda_S + \Delta\lambda$$

$$h_T = h_S + \Delta h$$

نجد:

$$\varphi_T = 27^\circ 11' 22.254''N, \lambda_T = 33^\circ 48' 23.079''E, h_T = -21.12 \text{ m}$$

وبمقارنة نتائج تحويل هذه النقطة مع نتائج تحويل ذات النقطة في طريقة الوسطاء الثلاثة (عموماً ينصح باستخدام طريقة الوسطاء الثلاثة للحصول على نتائج أكثر دقة):

طريقة الوسطاء الثلاثة	طريقة Molodensky المختصرة
27°11'22.255"N	27°11'22.254"N
33°48'23.079"E	33°48'23.079"E
-21.12 m	-21.12 m

الجدول 5-8 مقارنة نتائج التحويل بين طريقة الوسطاء الثلاثة و Molodensky المختصرة

بمعرفة الإحداثيات الجغرافية ثلاثية الأبعاد أي زاوية العرض والطول والارتفاع الإهليلجي لثلاث نقاط في المرجع المحلي وكذلك في WGS 84 يمكن حساب قيم وسطاء التحويل ΔX و ΔY و ΔZ باستخدام برامج مخصصة لهذا الغرض مثل برنامج Inverse Molodensky الذي يمكن تنزيله من موقع كلية علوم المعلومات الجغرافية ومراقبة الأرض في جامعة Twente:

<http://www.itc.nl/ilwis/downloads/tools/geodeticTools.asp>



5.2.2.2. الإزاحة الجغرافية

تُعدّ الإزاحة الجغرافية (geographic offset) من أبسط عمليات تحويل الإحداثيات بين نظامين مرجعيين للإحداثيات الجغرافية، لكنها تتميز بالدقة المنخفضة، ولذلك تستخدم في الأغراض التي يمكن معها التسامح مع هذه الدقة المنخفضة. تستخدم الإزاحة الجغرافية عموماً لتحويل الإحداثيات في البعدين، زاويتي العرض والطول، ويرمز إلى الإزاحة الجغرافية في البعدين في قاعدة بيانات EPSG بالعمليّة 9619 على الإحداثيات:

$$\varphi_T = \varphi_S + \Delta\varphi$$

$$\lambda_T = \lambda_S + \Delta\lambda$$

حيث $\Delta\varphi$ و $\Delta\lambda$ فروق زوايا العرض والطول، وهي قيم ثابتة معطاة.

في حالات نادرة جداً، يمكن استخدام الإزاحة الجغرافية لتحويل الإحداثيات ثلاثية الأبعاد؛ زاويتي الطول والعرض والارتفاع الإهليلجي، بين مرجعين جيوديسيين، ويرمز إلى الإزاحة الجغرافية في الأبعاد الثلاثة في قاعدة بيانات EPSG بالعملية 9660 على الإحداثيات:

$$\varphi_T = \varphi_S + \Delta\varphi$$

$$\lambda_T = \lambda_S + \Delta\lambda$$

$$h_T = h_S + \Delta h$$

ملاحظة: تستخدم الإزاحة الجغرافية ثلاثية الأبعاد بين مرجعين جيوديسيين، وليس بين مرجعين رأسيين (لتحويل الإحداثيات الرأسية بين مرجعين رأسيين (انظر 5.2.30 التحويلات في النظام المرجعي للإحداثيات الرأسية).

5.2.2.3. الإزاحة الجغرافية المعتمدة على شبكة

كما مر معنا، في التحويل المعتمد على شبكة (grid-based transformation) تُقسم المنطقة المراد تحويلها إلى شبكة من الخلايا (cells) ثم يصار إلى تسجيل الفروق بين الإحداثيات المنسوبة إلى النظامين المرجعين في كل خلية، وتكرر تسجيل هذه الفروق ضمن الخلية الواحدة عدة مرات على مسافات متساوية، ومن ثم إنشاء نموذج بهذه الفروق في صورة معادلة رياضية، وبدلاً من الوسطاء يتطلب التحويل المعتمد على الشبكة ملفاً (قاعدة بيانات) توفرها الجهة المختصة. يتم تحويل إحداثيات أي نقطة من مجسم إلى آخر بالاعتماد على نموذج الفروق وباستخدام طريقة الاستكمال الداخلي ثنائي الخطية (bi-linear interpolation).

تعدّ طريقة التحويل المعتمد على شبكة أكثر دقة بصورة عامة من طرق التحويل المعتمد على معادلة، وتتميز بسهولة التطبيق. يتطلب استخدام هذه الطرق ملفات التحويل ذات الصلة بمنطقة الدراسة التي لا تتوفر إلا من الجهات المختصة وهي ملفات ثنائية (binary files) عادة وتغطي بعض المناطق فقط، مثل الولايات المتحدة وكندا وبريطانيا، وتدعم تحويل الإحداثيات بين مراجع جيوديسية محدودة جداً. ومن هذه التحويلات:

- NADCON: يرمز لتحويل المرجع الأمريكي الشمالي (North American Datum Conversion) في قاعدة بيانات EPSG بالعملية 9613 على الإحداثيات. تستخدم NADCON في هيئة المساحة الجيوديسية الوطنية الأمريكية للتحويل بين الأنظمة المستخدمة في الولايات المتحدة.

- NTV2: يرمز للنسخة الثانية من التحويل الوطني (National Transformation version 2) في قاعدة بيانات EPSG بالعملية 9615 على الإحداثيات. تم تطوير NTV2 في هيئة الخرائط الوطنية في كندا، ثم اعتمدت في أستراليا و نيوزيلندا ودول أخرى.
- OSTN: يرمز لهذه الطريقة في قاعدة بيانات EPSG بالعملية 9633 على الإحداثيات، وتستخدم في بريطانيا.

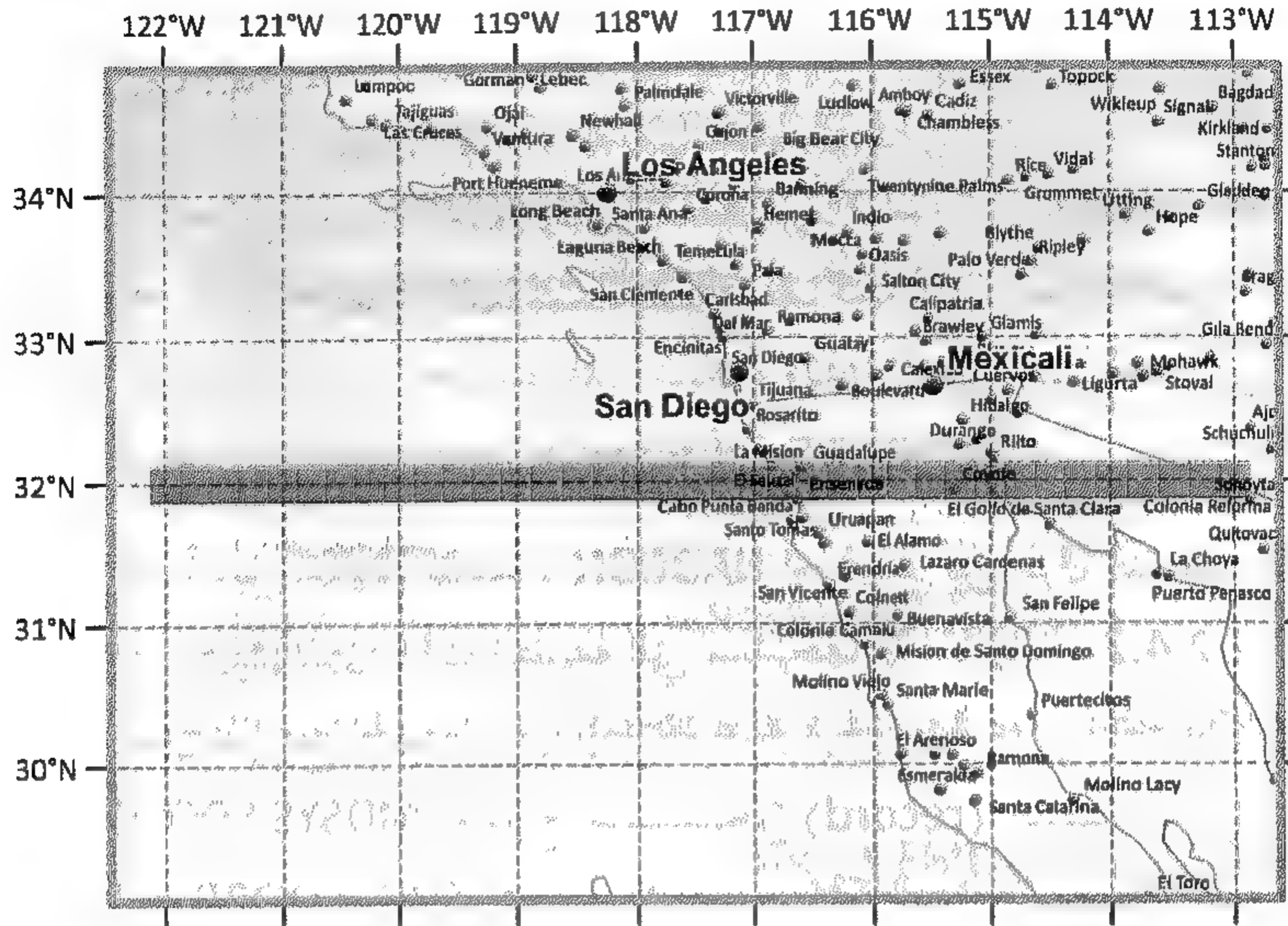
يستخدم NADCON مثلاً للتحويل بين المرجعين الجيوديسيين NAD 27 و NAD 83 فقط وفي المناطق الواقعة في الولايات المتحدة، وقد قامت بتطويره الإدارة الوطنية للمحيطات والغلاف الجوي (National Oceanic and Atmospheric Administration: NOAA) وتصل دقته إلى 0.1 من المتر، في مقابل طرق التحويل الأخرى المعتمدة على معادلة والتي تصل الدقة فيها إلى 10 إلى 30 متراً.

ملفات NADCON هي ملفات ثنائية ويكون لكل منطقة ملفان يحمل الأول اللاحقة los ويغطي وسطاء التحويل لزوايا الطول ويحمل الثاني اللاحقة las ويغطي وسطاء التحويل لزوايا العرض. يمكن باستخدام الأداة NADGRD المتوفرة في موقع المساحة الوطنية الأمريكية تحويل الملفات الثنائية إلى ملفات نصية وبالعكس.

المثال التالي يبين 37 خلية مستخرجة باستخدام الأداة NADGRD من أحد ملفات NADCON تغطي منطقة تبدأ من مربع يمر مركزه في زاوية الطول 122- درجة وزاوية العرض 32، وتغطي كل خلية ربع درجة أو 15 دقيقة. تتضمن كل قيمة فرق زاوية الطول بالثانية بين المرجعين الجيوديسيين NAD 27 و NAD 83:

```
NADCON EXTRACTED REGION      NADGRD
37 21 1 -122.00000 .25 32.00000 .25 .00000
.007383 .004806 .002222 -.000347 -.002868
-.005296 -.007570 -.009609 -.011305 -.012517
-.013093 -.012901 -.011867 -.009986 -.007359
-.004301 -.001389 .001164 .003282 .004814
.005503 .005361 .004420 .002580 .000053
-.002869 -.006091 -.009842 -.014240 -.019217
-.025104 -.035027 -.050254 -.072636 -.087238
-.099279 -.110968
```

يبين الشكل التالي مواقع هذه الخلايا:



الشكل 5-7 مثال على بيانات مستخدمة في تحويل NADCON

.....  ArcGIS

يمكن إضافة ملفات التحويل ذات الامتداد LAS و LOS والتي تتضمن قيم الإزاحة بين زوايا العرض وزوايا الطول باستخدام NADCON في ArcGIS إلى المجلد:

C:\Program Files (x86)\ArcGIS\Desktop10.0\pedata\nadcon

كما يمكن إنشاء طريقة تحويل جديدة باعتماد NADCON بين مرجعين جيوديسيين بذات الطريقة التي سنشرحها لاحقاً (انظر 5.2.2.4.2 إنشاء طريقة تحويل جديدة بين المراجع الجيوديسية)، مع اختيار NADCON من القائمة المنسدلة Method Name.

.....  AutoCAD®
Map 3D

ملفات NADCON متوفرة في AutoCAD Map 3D في المجلد:

C:\Documents and Settings\All Users\Application Data\Autodesk\Geospatial
Coordinate Systems\Usa\Nadcon



لا تتوفر بيانات التحويل باستخدام الطرق المعتمدة على الشبكة في Oracle Spatial، حيث يجب تعريف هذه الطرق وتحميل البيانات ذات الصلة. كما لا يدعم Oracle Spatial قراءة الملفات الثنائية لطريقة التحويل المعتمدة على شبكة، ولذلك يحتاج المستخدم إلى الحصول على الملفات النصية أو تحويل الملفات الثنائية باستخدام أداة NADGRD.

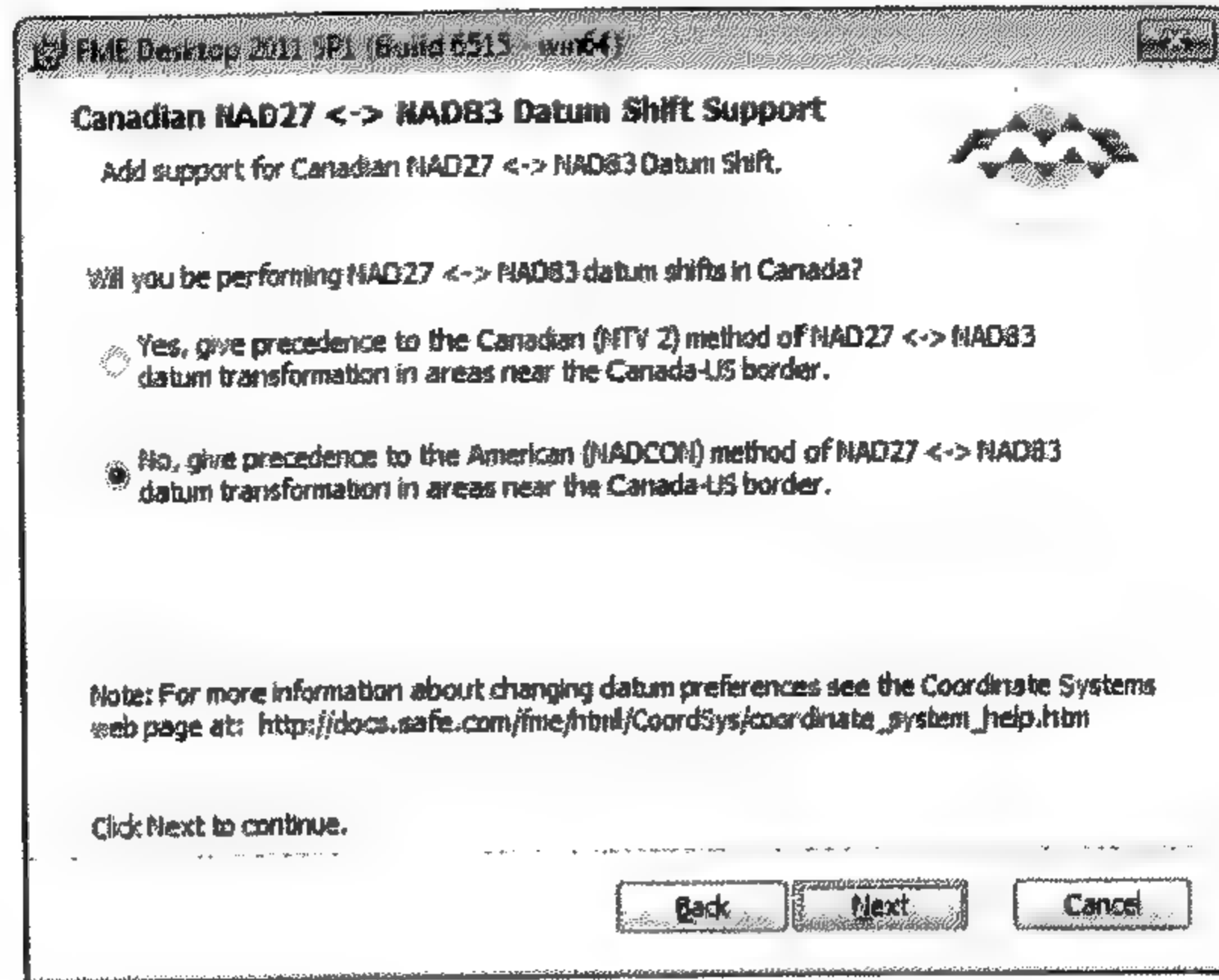
يمكن إنشاء طريقة تحويل جديدة باعتماد NADCON أو غيرها من طرق التحويل بالاعتماد على شبكة بين مرجعين جيوديسيين بذات الطريقة التي سنشرحها لاحقاً (انظر 5.2.2.4.2 إنشاء طريقة تحويل جديدة بين المراجع الجيوديسية) بإضافة عملية جديدة على الإحداثيات إلى الجدول MDSYS.SDO_COORD_OPS، وإدراج سجل (record) جديد في الجدول SDD_COORD_PARAM_VALS يشير إلى معرف العملية الجديدة في الحقل COORD_OP_ID واسم الملف في الحقل PARAM_VALUE_FILE_REF وإدراج محتويات الملف النصي في الحقل PARAM_VALUE_FILE.

بالإضافة إلى نسخ محتويات الملف النصي في الحقل PARAM_VALUE_FILE يمكن اختيارياً إدراج نسخة XML من الملف النصي في الحقل PARAM_VALUE_XML لأغراض التوثيق، ولذلك يدعم النظام أيضاً تحويل الملفات النصية إلى هيئة XML وبالعكس من خلال الإجراءات التالية المتوفرة في الحزمة SDO_CS:

- SDO_CS.CONVERT_NTV2_TO_XML
- SDO_CS.CONVERT_NADCON_TO_XML
- SDO_CS.CONVERT_XML_TO_NADCON
- SDO_CS.CONVERT_XML_TO_NTV2



أثناء تركيب FME يواجه المستخدم صندوق حوار يطلب من المستخدم تحديد طريقة التحويل للبيانات المكانية الواقعة في المنطقة الحدودية بين كندا والولايات المتحدة، ويمكن الانتقال بين NTV2 للمستخدمين في كندا أو NADCON للمستخدمين في الولايات المتحدة. بالنسبة للمستخدمين في المنطقة العربية لا يشكل أي من هذين الخيارين فرقاً.

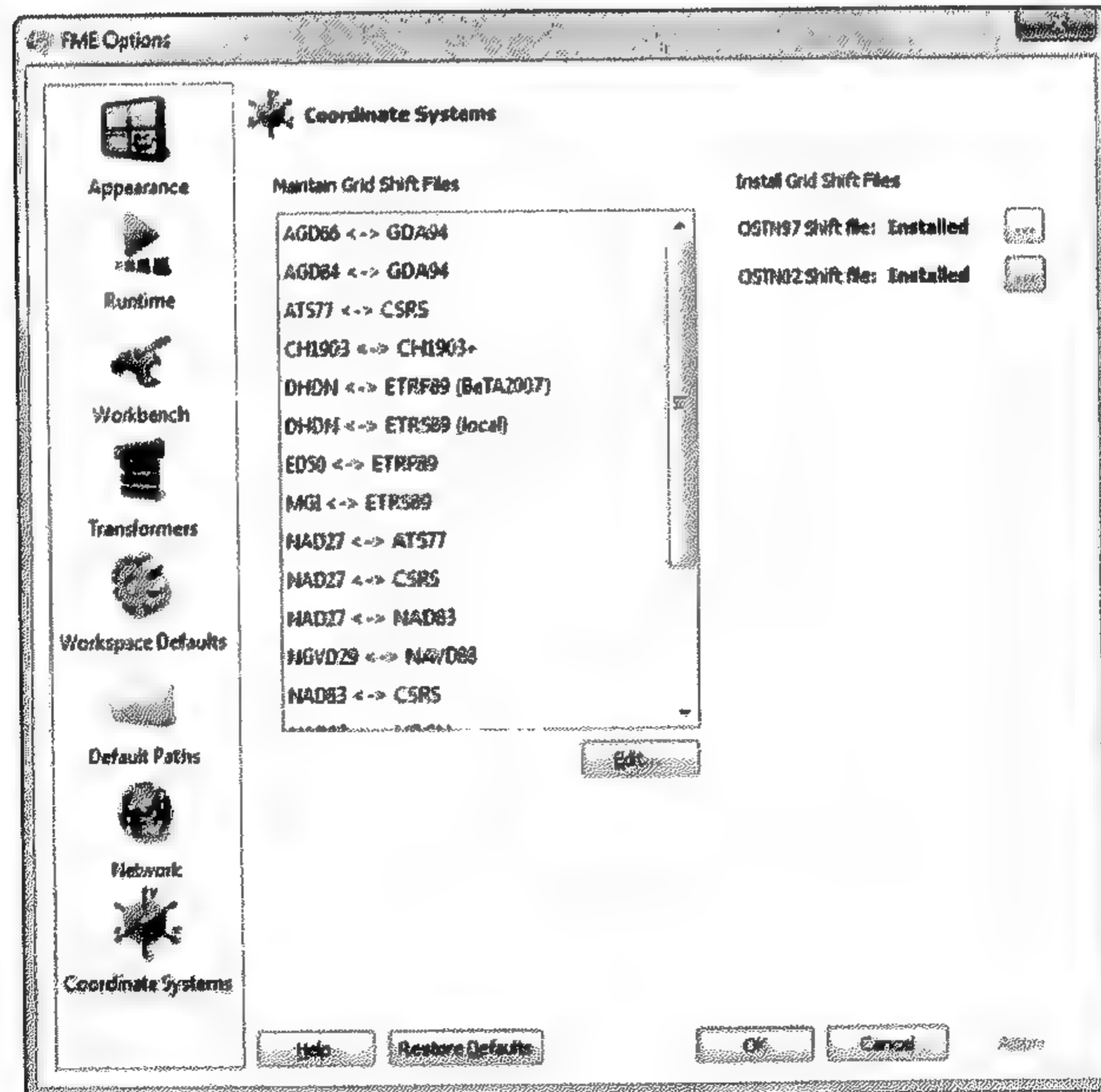


الشكل 8-5 انتقاء طريقة التحويل في المناطق الحدودية بين كندا والولايات المتحدة في FME

ملفات NADCON متوفرة في FME في المجلد:

C:\Program Files\FME\Reproject\GridData\Nadcon

يمكن إضافة وتحرير ملفات الإزاحة المعتمدة على شبكة في FME من خلال صندوق حوار البرنامج في القائمة FME Options > Tools وبالاتقال إلى مجموعة Coordinate Systems في قائمة الخيارات الجانبية:



الشكل 9-5 التحكم بملفات الإزاحة المعتمدة على شبكة في FME

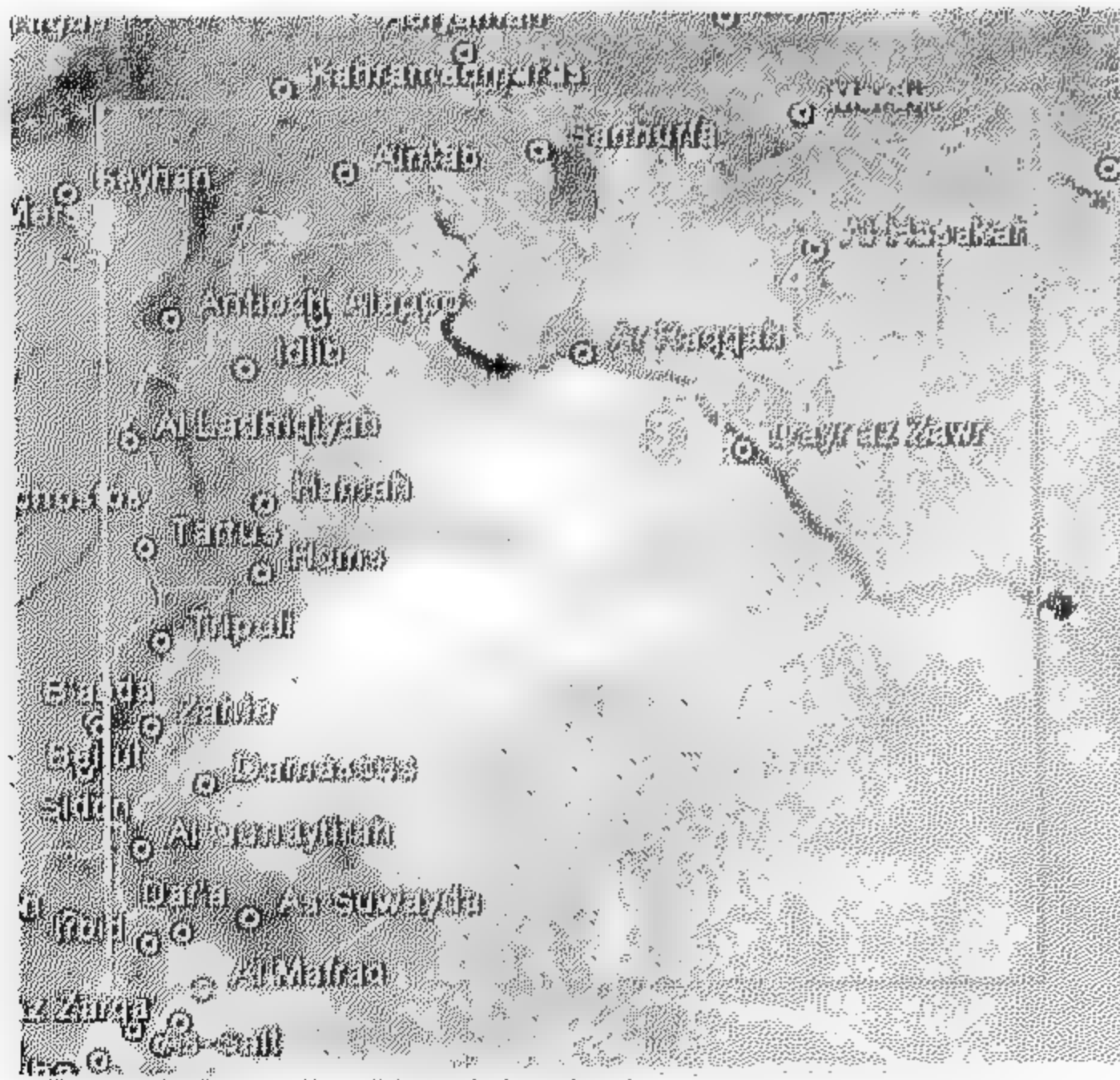
5.2.2.4. تحويل الإحداثيات الجغرافية في برامج نظام المعلومات الجغرافية

تتضمن برامج نظام المعلومات الجغرافية عمليات التحويل المعروفة في قاعدة بيانات EPSG، ويمكن تنفيذ عمليات التحويل على البيانات المكانية دون الحاجة إلى معرفة المعادلات السابقة. ويلاحظ المستخدم عند تحويل البيانات بين نظامين مرجعيين للإحداثيات توفر أكثر من عملية تحويل واحدة ويعود ذلك لتوفر أكثر من عملية في قاعدة بيانات EPSG.

تختلف هذه العمليات في طريقة التحويل المستخدمة (انتقال أرضي المركز أو طريقة Helmert مثلاً) أو في قيم وسطاء التحويل حيث تكون وسطاء التحويل في عملية ما مناسبة لمنطقة جغرافية معينة ولا تكون مناسبة لمناطق أخرى. ويعود ذلك إلى قيام أكثر من جهة بإيجاد قيم هذه الوسطاء، إما في مناطق مختلفة، أو في ذات المنطقة وباستخدام مستويات مختلفة من الدقة (عدد مختلف من النقاط).

وبصورة عامة يجب عند استخدام طرق التحويل المعتمدة على معادلة تقسيم الدولة إلى مناطق أصغر وإيجاد وسطاء التحويل لكل منطقة على حدة، حيث يؤدي استخدام قيم واحدة لوسطاء تحويل في كافة مناطق الدولة إلى انخفاض دقة الإحداثيات الناتجة بصورة ملحوظة.

يبين الشكل التالي ستة مناطق في سوريا في قاعدة بيانات EPSG تتوفر لها عمليات تحويل للإحداثيات من النظام المرجعي للإحداثيات المسقط Deir ez Zor / Levant Stereographic إلى النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية WGS 84. يعتمد النظام المرجعي الأول على الإهليلجي (Clarke 1880) بينما يعتمد الثاني على الإهليلجي WGS 84.



الشكل 5-10 الحدود الجغرافية لعمليات التحويل

يتوفر لكل منطقة من المناطق المبينة بخط متقطع واحدة أو أكثر من عمليات التحويل. تعتمد كل عملية تحويل إما طريقة تحويل مختلفة أو وسطاء مختلفة. وعادة لا توضح برمجيات نظام المعلومات الجغرافية هذه المعلومات لكن يمكن الرجوع إلى قاعدة بيانات EPSG للتأكد منها لكل عملية.

المثال التالي يوضح نتيجة تحويل سور ومدخل قلعة حلب، باستخدام طريقتين: الأولى الانتقال أرضي المركز أو طريقة الوسطاء الثلاثة (المضلع الأحمر) وهي مصممة أصلاً للمنطقة 5 في الشكل السابق أي كامل سوريا، والثانية طريقة Helmert أو طريقة الوسطاء السبعة (المضلع الأخضر) وهي مصممة للمنطقة 6 في دير الزور.



الشكل 5-11 تأثير اختلاف طرق التحويل وقيم الوسطاء في العمليات على الإحداثيات

ويتضح من هذا المثال أن طريقة الوسطاء السبعة تتصف بنتائج تحويل ذات دقة أعلى من طريقة الوسطاء الثلاثة حتى عندما تكون مصممة لمنطقة أبعد، وأن استخدام قيم واحدة لوسطاء تحويل في كافة مناطق الدولة يؤدي إلى انخفاض دقة تحويل الإحداثيات الناتجة بصورة ملحوظة.

من ناحية أخرى، في حال عدم توفر قيم وسطاء التحويل، يمكن رصد إحداثيات ثلاث نقاط على الأقل بالنسبة إلى المحسّمين الإهليلجيين واستخدام المعادلات لإيجاد هذه القيم، كما يتوفر لهذا الغرض برامج تقوم بإيجاد قيم الوسطاء مثل برنامج Inverse Molodensky (انظر 5.2.2.1 طريقة Molodensky المختصرة). يمكن زيادة دقة قيم الوسطاء من خلال رصد إحداثيات عدد أكبر من النقاط موزعة بصورة مناسبة. ومن البدهي أن دقة الإحداثيات المرصودة تؤثر بصورة ملحوظة في دقة قيم الوسطاء.

من الجدير بالذكر أيضاً أن تحويل الإحداثيات المقيسة على نظام تحديد المواقع العالمي إلى مرجع محلي يتسبب في فقدان دقة تلك الإحداثيات نظراً للخطأ النسبي المرتفع في المراجع المحلية في مقابل الدقة المرتفعة لتقنية نظام تحديد المواقع العالمي.

5.2.2.4.1 تحويل البيانات المكانية بين المراجع الجيوديسية

بصورة عامة يتم تحويل البيانات المكانية بين المراجع الجيوديسية بتصدير هذه البيانات مع ضبط النظام المرجعي للبيانات الناتجة من التصدير إلى النظام المرجعي المطلوب. وعادة ما تتوفر أكثر من طريقة لتصدير البيانات.

ملاحظة: أحياناً تتوفر أكثر من طريقة لتحويل البيانات بين مرجعين جيوديسيين، وتختلف برامج نظام المعلومات الجغرافية في معالجة ذلك. بعض البرامج مثل ArcGIS يمنح المستخدم خيار تحديد الطريقة المستخدمة في التحويل كلما أراد المستخدم تحويل بيانات بين هذين المرجعين، بينما تستخدم برامج أخرى مثل AutoCAD Map 3D و Oracle Spatial أسلوب الطريقة المفضلة التي يمكن للمستخدم تحديدها في البرنامج بحيث تستخدم بصورة تلقائية.

كما في تحويل البيانات المكانية بين الأنظمة المرجعية للإحداثيات الجغرافية، تختلف طريقة تحويل البيانات المتجهة والبيانات المتسامتة قليلاً، حيث يجب تحديد بعض المعلومات الإضافية عند تحويل البيانات المتسامتة:

- طريقة أخذ العينات (انظر 5.3.2 أخذ العينات عند تحويل البيانات المتسامتة).
- تحديد أبعاد الخلية الناتجة من عملية التحويل (output cell size)، لأن أبعاد الخلية قبل التحويل مقيسة على النظام المرجعي القديم ويجب تحويلها إلى ما يقابل ذلك في وحدات قياس النظام المرجعي الجديد ويمكن أن يؤدي إدخال أبعاد غير صحيحة للخلية إلى أخطاء فادحة.

بهدف تنظيم المعلومات في هذا الكتاب سنفترض أيضاً كما مر معنا في بحث النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية أن البيانات المتسامتة في المثال التالي مسندة جغرافياً أو تأتي مع ملف العالم المرافق، بينما سنتناول بالتفصيل الإسناد الجغرافي للبيانات المتسامتة وبنية ملف العالم لاحقاً (انظر 5.3 عمليات أخرى على الإحداثيات).



مشروع:

يراد تحويل بيانات مكانية متجهة ومتسامتة تمثل الطرق في جزيرة مصيرة (Masira Island) في عُمان من النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية Nahrwan 1967 الذي يعتمد المحسّم الإهليلجي Clarke 1880 (RGS) إلى WGS 84.

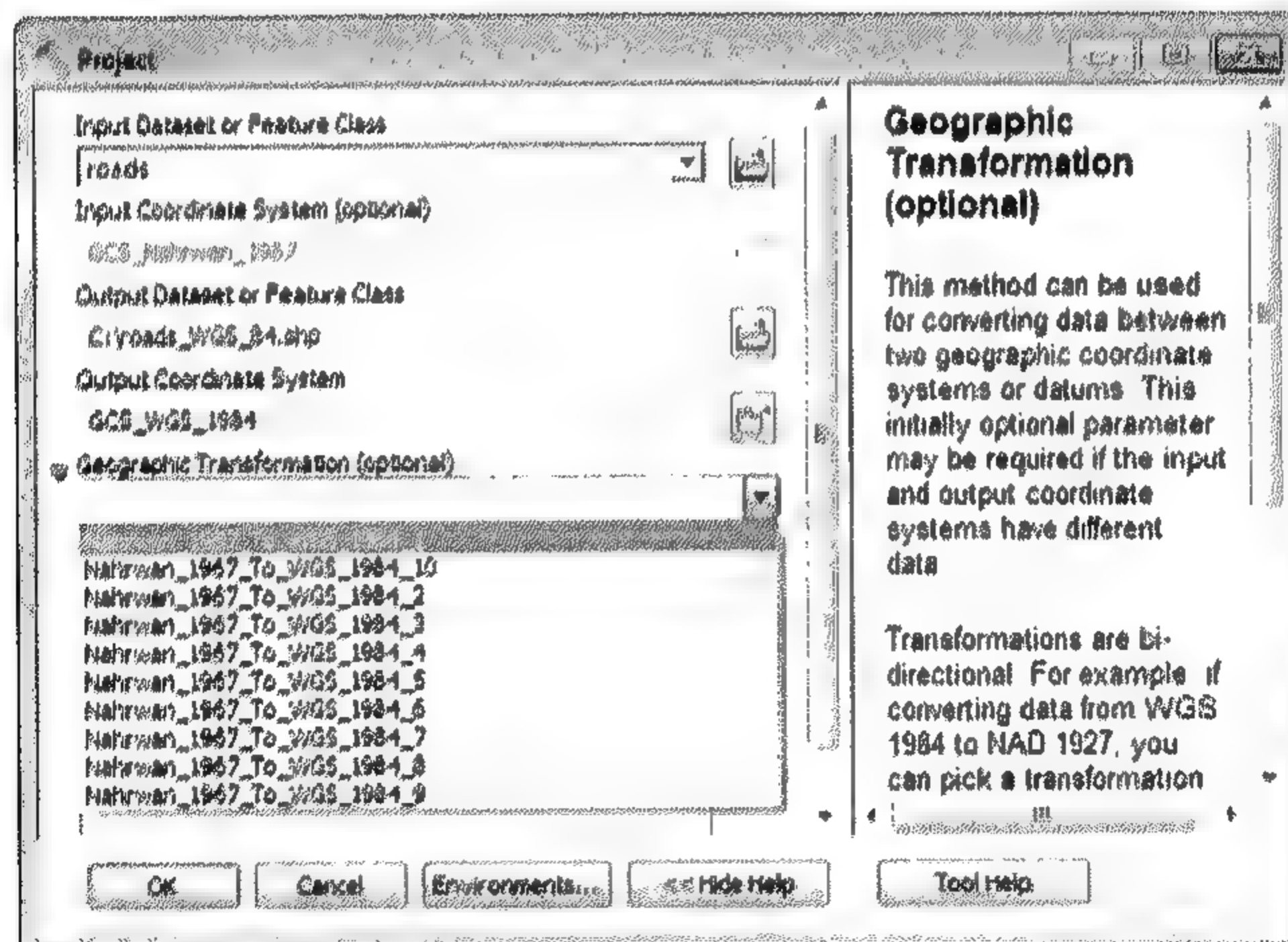
الحل:

يمكن تحويل البيانات المكانية في ArcGIS من نظام مرجعي إلى آخر باستخدام الأداة Project في ArcToolbox:

Data Management Tools > Projections and Transformations > Feature > Project

انقر فوق زر Browse وانتق الملف roads.shp إذا لم تقم بتحميله في ArcMap أو انتق roads من القائمة المنسدلة Input Dataset or Feature Class. يتعرف ArcGIS على النظام المرجعي لإحداثيات البيانات roads ويقوم تلقائياً بإدخال النظام GCS_Nahrwan_1967 في مربع الإدخال Input Coordinate System.

في مربع الإدخال Output Dataset or Feature Class ندخل اسم ومسار البيانات الجديدة، ونحدد النظام المرجعي الهدف أي WGS في مربع الإدخال Output Coordinate System بانتقائه من مكتبة البرنامج.

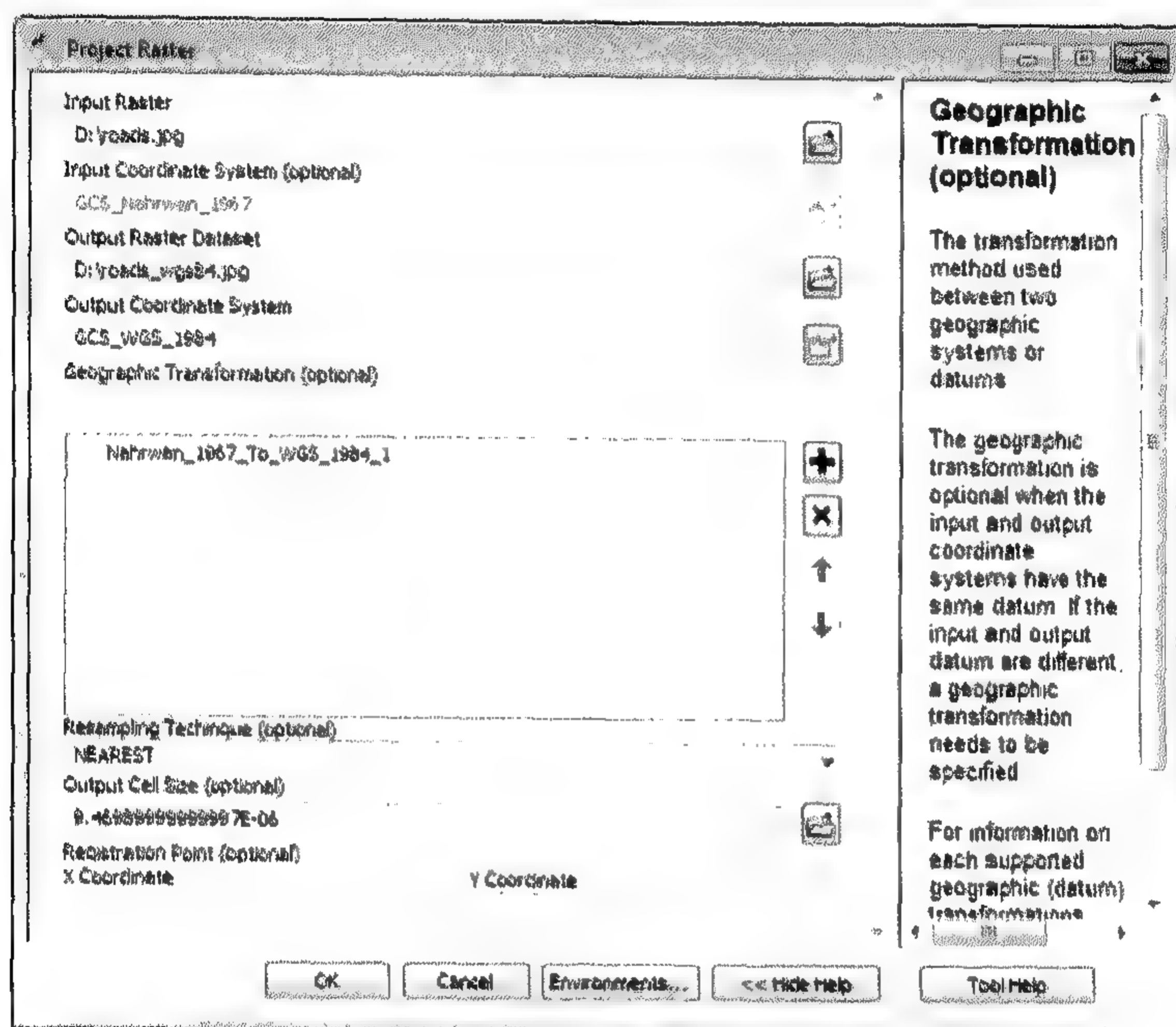


الشكل 12-5 التحويل بين المراجع الجيوديسية في ArcGIS

الآن نقوم بتحديد طريقة التحويل المطلوبة بانتقائها من القائمة المنسدلة Geographic Transformation، ونلاحظ وجود عدد من طرق التحويل التي تتشابه أسماءها مرقمة من 1 إلى 10. كما ذكرنا سابقاً تستخدم كل واحدة منها طريقة تحويل مختلفة ووسطاء مختلفة ولها حدود جغرافية يمكن استخدامها فيها حسب قاعدة بيانات EPSG. نختار الطريقة Nahrwan_1967_To_WGS_1984_1 وهي مخصصة لجزيرة مصيرة.

يمكن تحويل البيانات المتسامة في ArcGIS بالأداة Project Raster في ArcToolbox بطريقة مشابهة للخطوات المستخدمة في تحويل البيانات المتجهة:

Data Management Tools > Projections and Transformations > Raster > Project Raster



الشكل 5-13 تحويل البيانات المتسامة بين المراجع الجيوديسية في ArcGIS

بالإضافة إلى الخطوات السابقة يجب إدخال معلومتين في الأداة Project Raster:

- طريقة أخذ العينات، وهي في المثال أعلاه فهي طريقة الجار الأقرب.
- تحديد أبعاد الخلية الناتجة من عملية التحويل (output cell size). عادة، يقوم ArcGIS بتعيين أبعاد الخلية الناتجة بناءً على النظامين المرجعيين اللذين يتم التحويل بينهما، ولكن ينصح بمراجعة هذه القيمة قبل المتابعة بعملية التحويل.

يعد إسقاط البيانات المتسامة يقوم ArcGIS بكتابة ملف العالم والملف المساعد للبيانات الجديدة بحيث تظهر في موقعها الصحيح عند فتحها.

إذا كانت هيئة البيانات الناتجة هي JPEG أو 2000 JPEG أو قاعدة بيانات جيومكانية (geodatabase) يمكن النقر فوق الزر Environment في صندوق حوار Project Raster

للتحكم بخيارات ضغط الصورة في المجموعة Storage Raster في القائمة المنسدلة .Compression

AutoCAD®
Map 3D

مشروع:

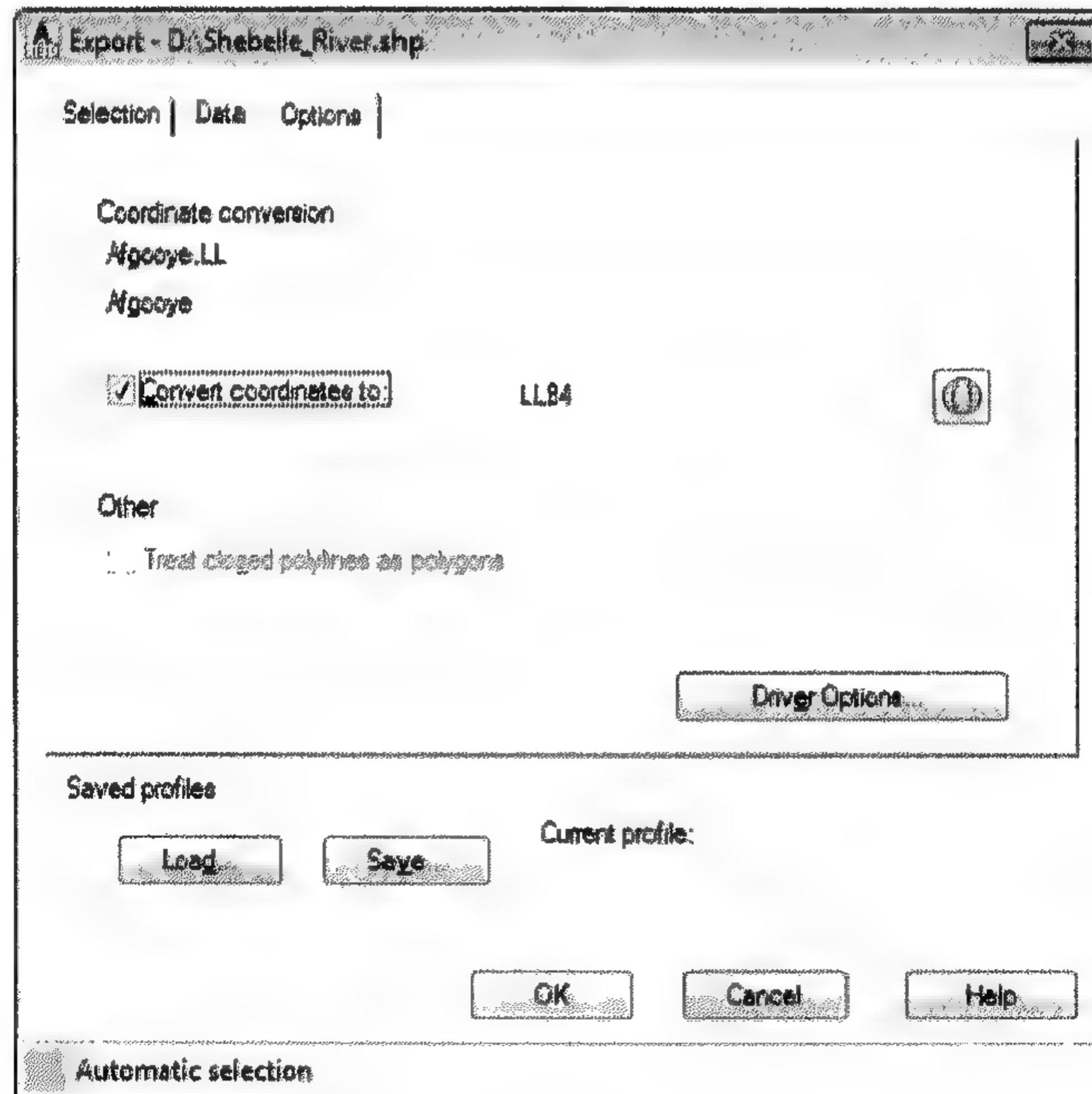
يراد تحويل بيانات مكانية تمثل نهر شبيلي (Shebelle River) في مقديشو (Mogadishu) في الصومال من النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية Afgooye الذي يعتمد الجسّم الإهليلجي Krassowsky 1940 إلى WGS 84.

الحل:

عند تصدير البيانات المكانية في AutoCAD Map 3D إلى أي هيئة يمكن التحكم بالنظام المرجعي لإحداثيات البيانات الناتجة من التحويل باستخدام الأمر Map 3D Export.

Ribbon: Output > Map Data Transfer > Map 3D Export

Command: MAPEXPORT



الشكل 14-5 التحكم بالنظام المرجعي لإحداثيات البيانات أثناء تصديرها في AutoCAD Map 3D

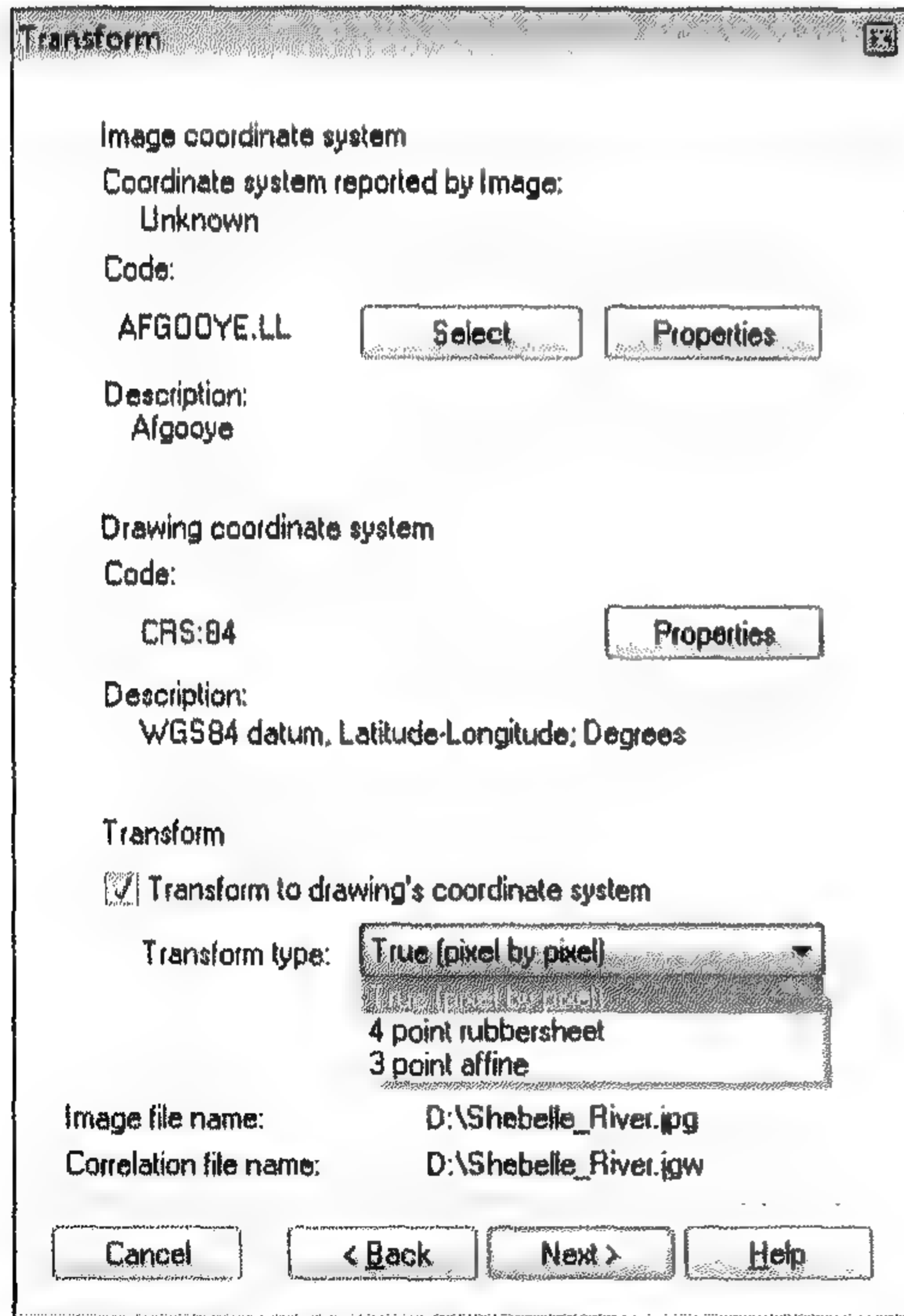
في صندوق حوار تصدير البيانات، وفي لسان التبويب (tab) المسمى Options يمكن ضبط النظام المرجعي لإحداثيات البيانات الناتجة بتمكين الخيار Convert coordinates to النظام المرجعي المطلوب بالنقر فوق زر مكتبة الأنظمة المرجعية أو كتابة رمز النظام في مربع الإدخال. إذا رغب المستخدم في استخدام قيم وسطاء أخرى أو طريقة تحويل مختلفة، يمكن تعريف طريقة تحويل جديدة في AutoCAD Map 3D بين المرجعين الجيوديسيين وسيقوم البرنامج باستخدامها بصورة تلقائية (انظر 5.2.2.4.2 إنشاء طريقة تحويل جديدة بين المراجع الجيوديسية).

يتم تحويل البيانات المتسامة في AutoCAD Map 3D بإعداد ملف الخريطة الحالي بحيث يكون WGS 84 هو النظام المرجعي فيه، وباستخدام الملحق Raster Design يتم إدراج الصورة ومن ثم تصديرها (وملف العالم المرافق) إلى ملف جديد، أو تصدير ملف العالم فقط.

يتم إدراج الصورة في الملحق Raster Design باستخدام الأمر Insert:

Ribbon: Raster Tools > Insert & Write > Insert

Command: IINSERT



بعد ذلك يتم انتقاء الملف وفي صندوق الحوار Pick Correlation Source تحديد أسلوب الارتباط وهو الارتباط باستخدام ملف العالم (world file correlation) أو الارتباط باستخدام ملف الصورة (image file correlation)، كما يمكن تعديل معلومات الارتباط في صندوق الحوار التالي Modify Correlation Values.

أولاً يجب إسقاط الصورة إلى النظام المرجعي لملف الخريطة ويمكن ذلك في صندوق الحوار Transform بتمكين الخيار Transform to drawing's coordinate system:

الشكل 5-15 تحويل البيانات المتسامة في الملحق

AutoCAD Map 3D في Raster Design

يمكن انتقاء طريقة التحويل بين الخيارات الثلاثة True أو 4 point rubbersheet أو 3 point affine (انظر 5.3 عمليات أخرى على الإحداثيات لمعلومات التحويل المتصل والتصفية المطاطي).

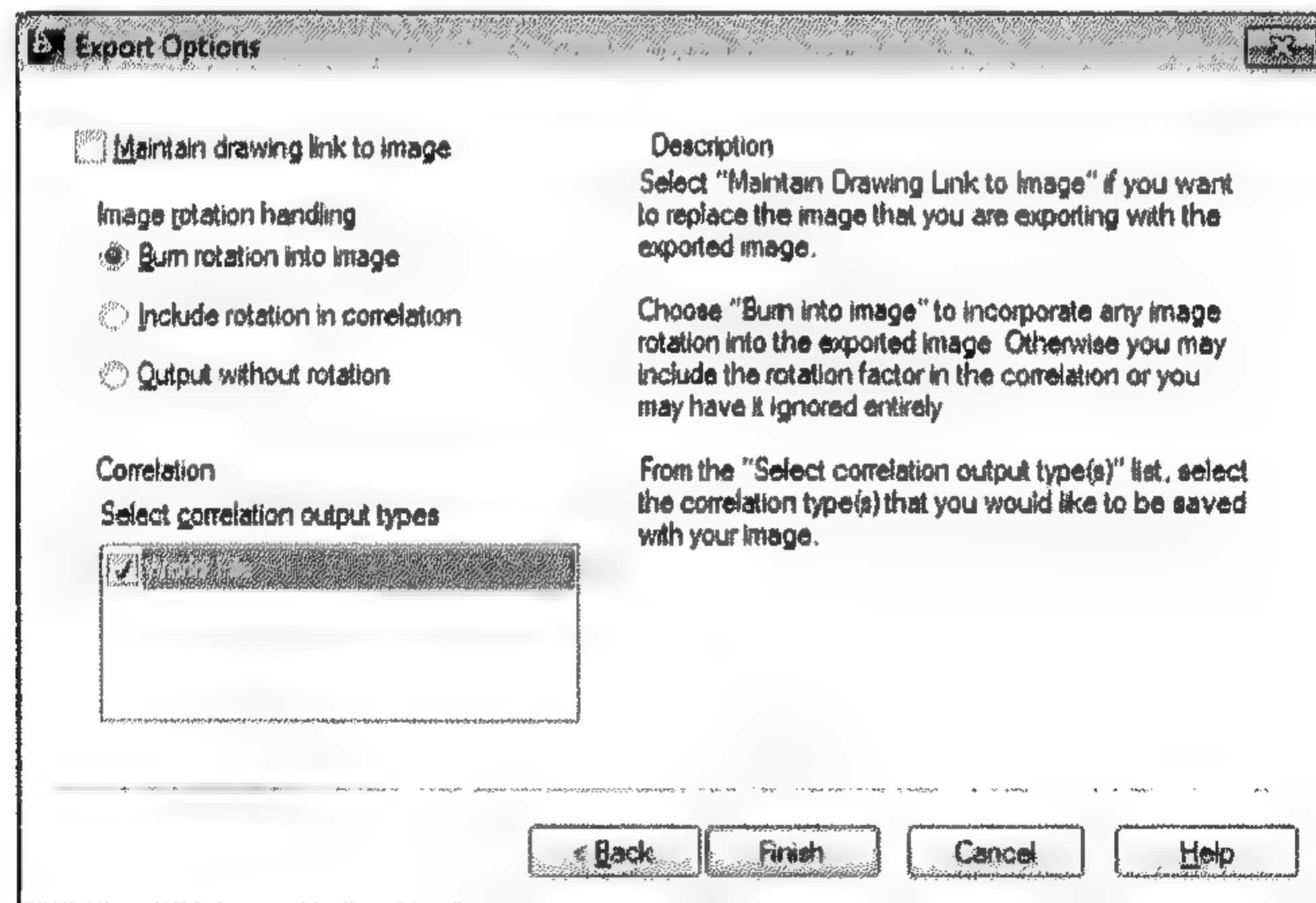
بعد إدراج الصورة في AutoCAD Map 3D يمكن حفظ الصورة في النظام المرجعي WGS 84 بطريقتين؛ الأولى تصدير الملف والثانية تصدير ملف العالم فقط.

يمكن تصدير الملف إلى ملف جديد في الطريقة الأولى من خلال الأمر World File:

Ribbon: Raster Tools > Insert & Write > Image Export

Command: IEXPORT

ويمكن في هذه الحالة تصدير الصورة إلى هيئة ملفات GeoTIFF مثلاً التي تدعمها معظم برمجيات نظام المعلومات الجغرافية بحيث تُحفظ معلومات النظام المرجعي ومعلومات الارتباط ضمن الصورة، أو انتقاء أي هيئة ملفات أخرى مع حفظ معلومات الارتباط في ملف العالم المرافق. إذا كانت الصورة تصنع زاوية مع محاور الإحداثيات يمكن للمستخدم التحكم بما إذا كان يرغب بتعريف زاوية الدوران في ملف العالم أو إنشاء صورة جديدة لا تصنع زاوية مع محاور الإحداثيات تتسع للصورة القديمة ويتم ملء الفراغ بخلايا فارغة:



الشكل 5-16 خيارات تصدير الصورة في الملحق Raster Design في AutoCAD Map 3D

في الطريقة الثانية يتم تصدير ملف العالم فقط بحيث يسمح بتسجيل الصورة جغرافياً طبقاً للنظام المرجعي WGS 84، ويكون ذلك من خلال الأمر World File:

Ribbon: Raster Tools > Insert & Write > World File

Command: IWORLDOUT

مشروع:

يراد تحويل البيانات المكانية التي تمثل نهر شبيلي في المثال السابق.

الحل:

يمكن في Oracle Spatial استخدام البرنامج الفرعي TRANSFORM_LAYER في حزمة SDO_CS لتحويل البيانات بين نظامين مرجعين للإحداثيات، مع تحديث ما وراء البيانات (metadata) بإدراج النظام المرجعي الجديد والحدود المكانية الجديدة للبيانات.

بفرض أن الجدول SHEBELLE_RIVER يتضمن البيانات المكانية في الحقل SHAPE يمكن تحويل البيانات في Oracle Spatial إلى النظام المطلوب وحفظها في الجدول SHEBELLE_RIVER_WGS84 بتنفيذ التعليمة التالية:

```
CALL SDO_CS.TRANSFORM_LAYER(
  'SHEBELLE_RIVER',
  'SHAPE',
  'SHEBELLE_RIVER_WGS84',
  4326);
INSERT INTO user_sdo_geom_metadata VALUES ('SHEBELLE_RIVER_WGS84','SHAPE',
MDSYS.SDO_DIM_ARRAY(
  MDSYS.SDO_DIM_ELEMENT('LONGITUDE',-180,180,0.05),
  MDSYS.SDO_DIM_ELEMENT('LATITUDE',-90,90,0.05)
),
4326
);
COMMIT;
```

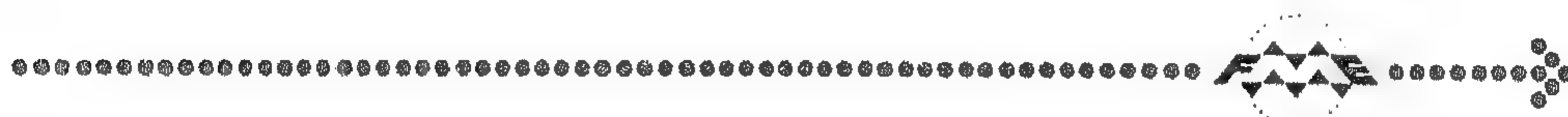
حيث 4326 معرف النظام المرجعي WGS 84 في Oracle Spatial ويمكن إيجاده في الجدول MDSYS.SDO_COORD_REF_SYS. يستخدم Oracle Spatial أسلوب الطريقة المفضلة عند إجراء التحويل، ويمكن للمستخدم التحكم بالطريقة المفضلة أو إنشاء طريقة تحويل جديدة وجعلها مفضلة (انظر 5.2.2.4.2 إنشاء طريقة تحويل جديدة بين المراجع الجيوديسية).

يمكن استخدام البرنامج الفرعي REPROJECT لتحويل البيانات المتسامة بين نظامين مرجعين. بفرض أن الجدول SHEBELLE_RIVER يتضمن البيانات المتسامة في الحقل GEORASTER وأن معرف البيانات المتسامة المطلوب تحويلها في الجدول المذكور هو 10 يمكن تحويل هذه البيانات إلى

النظام المطلوب وحفظها في الجدول SHEBELLE_RIVER_WGS84 كما يلي:

```
DECLARE
  g1 SDO_GEOASTER;
  g2 SDO_GEOASTER;
BEGIN
  SELECT georaster INTO g1 from SHEBELLE_RIVER WHERE id=10;
  INSERT INTO SHEBELLE_RIVER_WGS84 (id, georaster) VALUES (21,
    MDSYS.SDO_GEO.init ('RDT_1', 21))
  RETURNING georaster INTO g2;
  SDO_GEO.REPROJECT (g1, 'resampling=CUBIC', 'blocksize=(1024, 1024, 1)
interleaving=BSQ', 4326, g2);
  UPDATE SHEBELLE_RIVER_WGS84 SET georaster=g2 WHERE georid=21;
  COMMIT;
END;
/
```

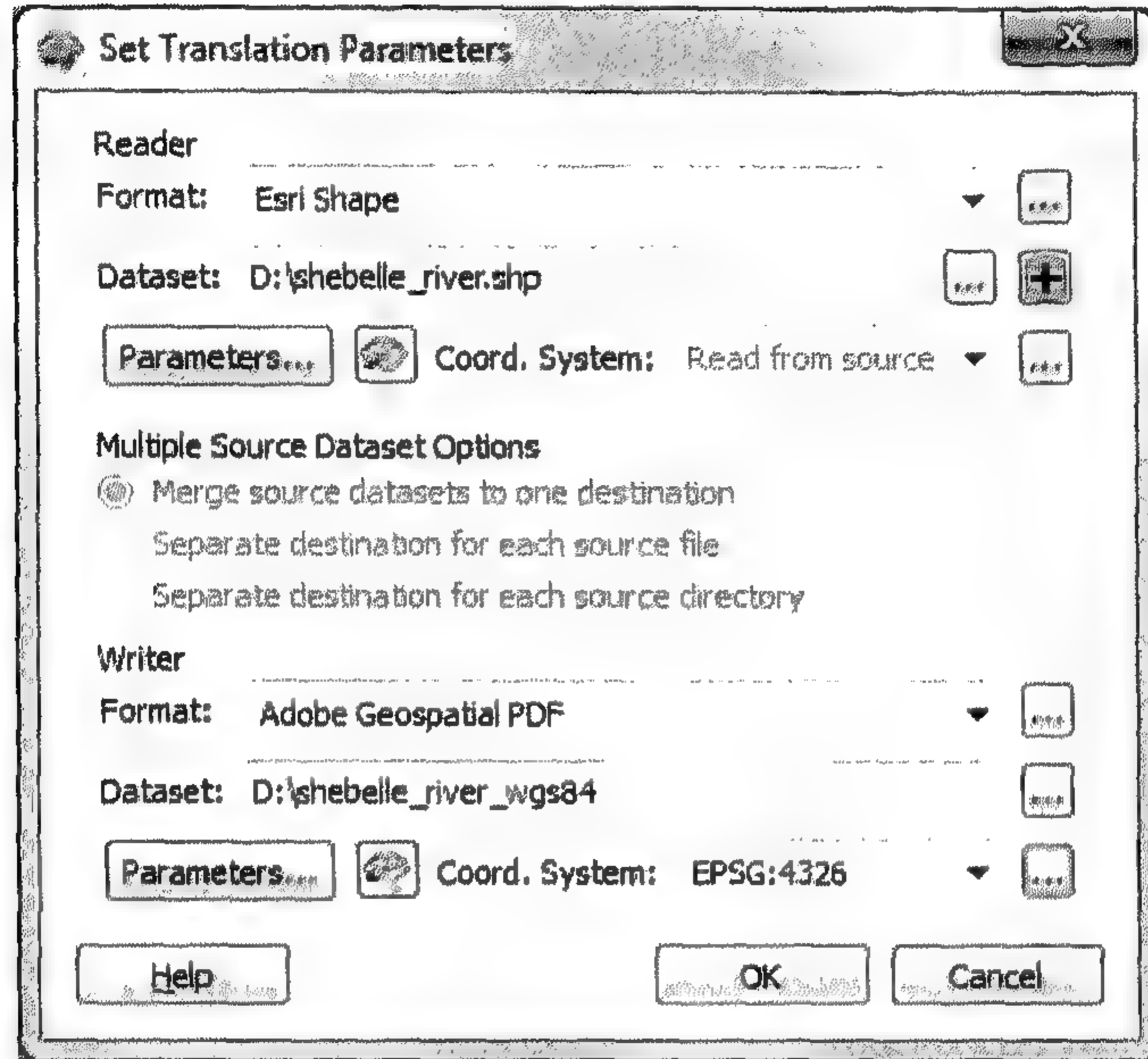
بالنسبة لطريقة أخذ العينات (resampling) في المثال أعلاه فهي طريقة الطي التكعيبي.



يتوفر في FME مجموعة واسعة من المحولات (transformers) التي تقوم بتحويل الإحداثيات بين الأنظمة المرجعية. يبين الجدول التالي بعض هذه المحولات:

المحول	الشرح
ESRIReprojector	يحول البيانات المكانية من نظام إحداثيات مرجعي إلى آخر باستخدام مكتبة التحويلات المعرفة في برمجيات ESRI.
Reprojector	يحول البيانات المكانية من نظام إحداثيات مرجعي إلى آخر باستخدام مكتبة التحويلات المعرفة في FME.
CsmapReprojector	يحول البيانات المكانية من نظام إحداثيات مرجعي إلى آخر باستخدام مكتبة CS-MAP مفتوحة المصدر (open source). (انظر 2.4.1.2 المشروع الفرعي CS-Map).
	http://trac.osgeo.org/csmmap

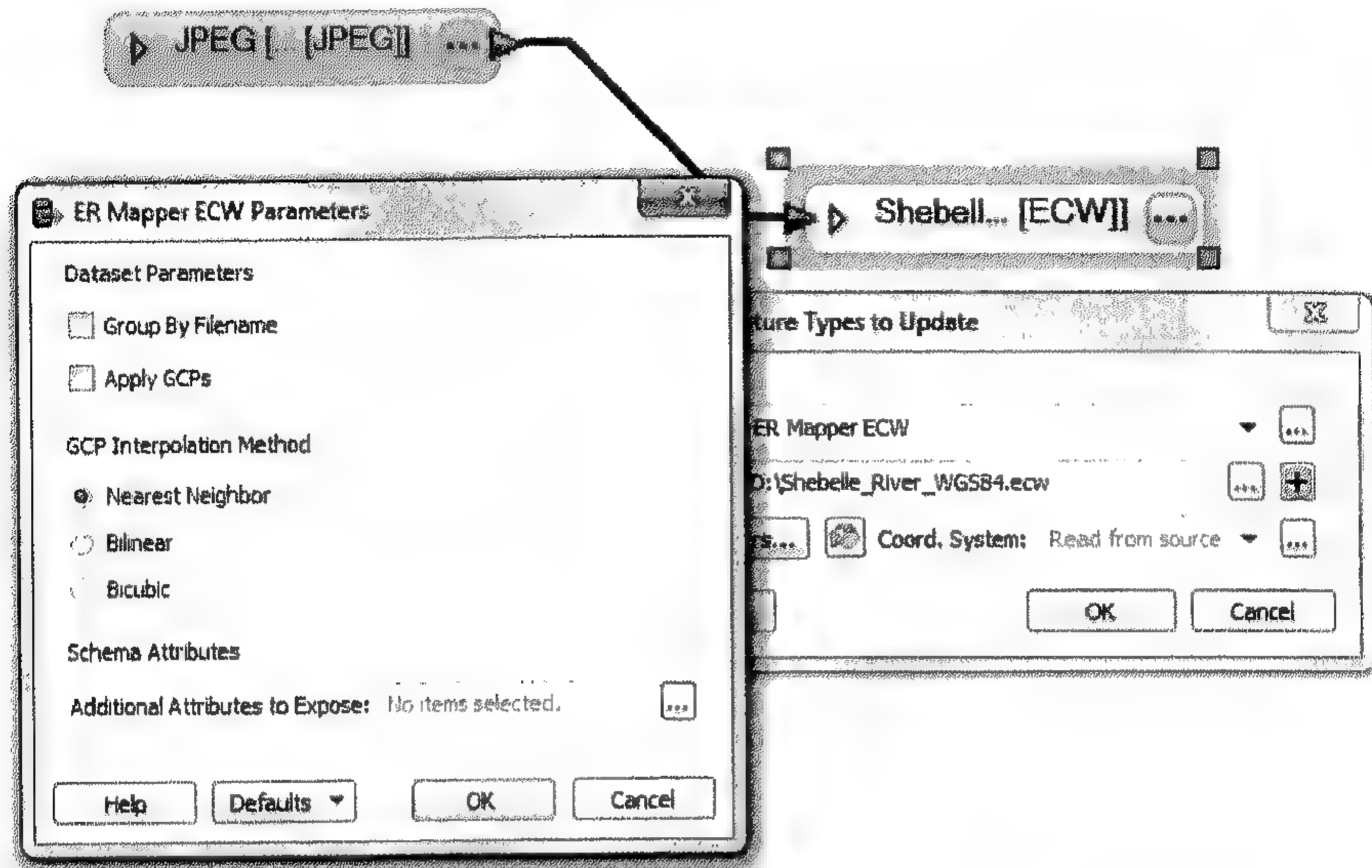
عند تحويل البيانات في برنامج FME Quick Translator أو البرنامج FME Workbench باستخدام المحولات Reprojector و CsmmapReprojector تُستخدم طريقة التحويل المعروفة في مكتبة البرنامج بطريقة مشابهة لعمل برنامج Autodesk Map 3D و Oracle Spatial. المثال التالي يقوم بتحويل البيانات التي تمثل نهر شبيلي في هيئة SHP إلى هيئة PDF الجيومكانية بنظام الإحداثيات المرجعي WGS 84 باستخدام FME Quick Translator:



الشكل 5-17 تحويل البيانات في FME حسب الإعدادات الفطرية في البرنامج

عند تحويل البيانات في FME Workbench باستخدام المحول ESRIReprojector يمكن للمستخدم التحكم بطريقة ووسطاء التحويل حسب المكتبة المعروفة في ArcGIS بطريقة مشابهة للخطوات في برنامج ArcGIS.

بالنسبة للبيانات المتسامطة يمكن باستخدام ذات البرنامج تحويل هذا النوع من البيانات بالطريقة ذاتها، ولكن ذلك لا يسمح بالتحكم بخيارات التحويل مثل تحديد طريقة أخذ العينات، ولذلك يفضل استخدام البرنامج FME Workbench. المثال التالي يبين كيفية تحويل البيانات Shebelle_River.jpg إلى صورة في هيئة ECW بنظام الإحداثيات المرجعي WGS 84 مع تحديد الجار الأقرب طريقة لأخذ العينات أثناء تحويل الصورة:



الشكل 18-5 خيارات إسقاط البيانات المتسامة في FME Workbench

5.2.2.4.2 إنشاء طريقة تحويل جديدة بين المراجع الجيوديسية



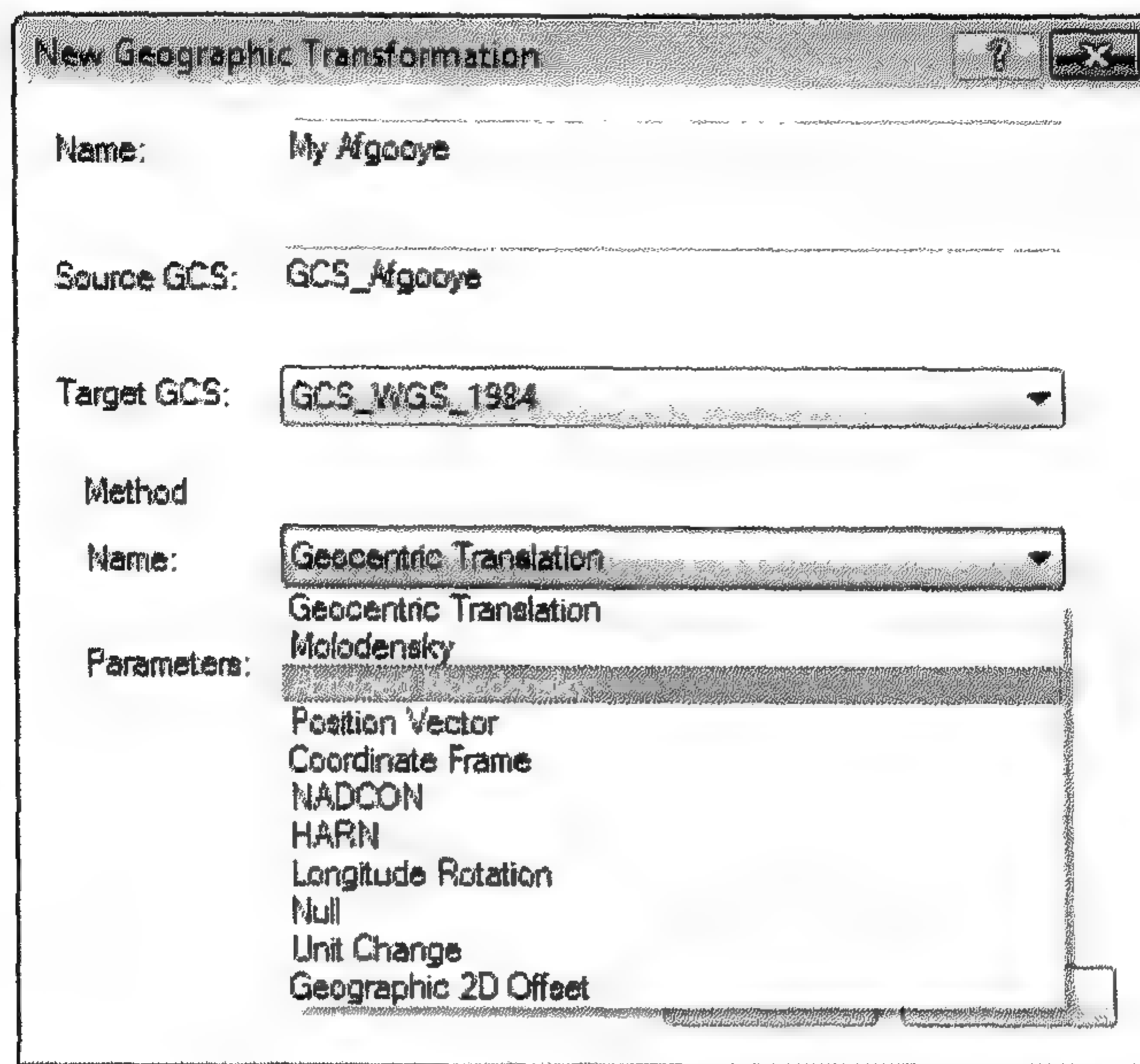
مشروع:

يراد تحويل البيانات المكانية التي تمثل نهر شبيلي في المثال السابق ولكن باستخدام طريقة Molodensky المختصرة، علماً بأن وسطاء التحويل للانتقال أرضي المركز من Afgooye إلى WGS 84 (العملية 1107 في قاعدة بيانات EPSG):

$$\Delta X = -43 \text{ m}, \Delta Y = -163 \text{ m}, \Delta Z = 45 \text{ m}$$

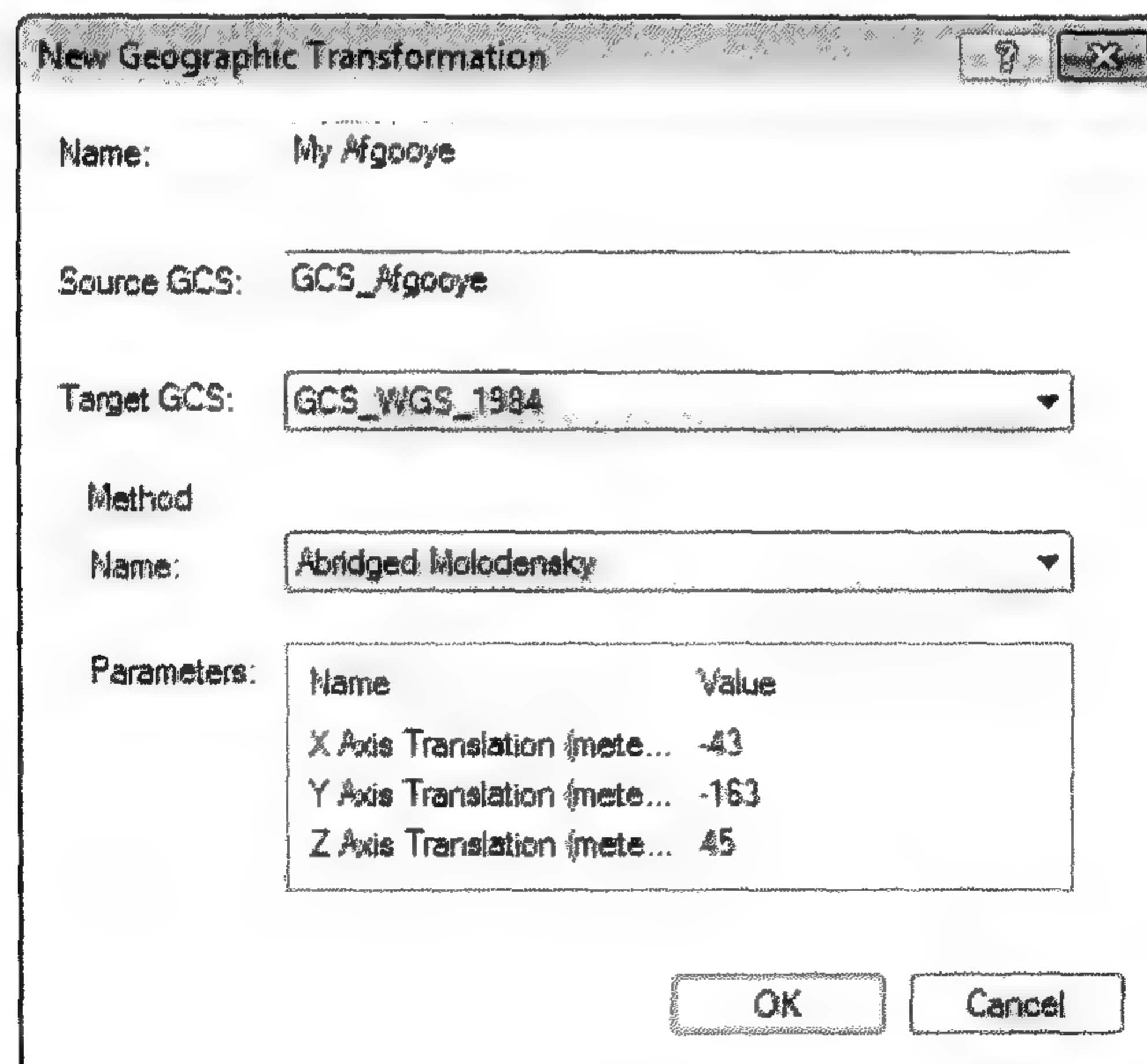
الحل:

بعد إعداد بيئة العمل في ArcMap وتحديد النظام WGS 84 من صندوق حوار إطار البيانات، نقوم بإضافة البيانات المكانية إلى جدول محتويات الخريطة فيقوم ArcGIS بعرض صندوق الحوار Geographic Coordinate Systems Warning لتنبيه المستخدم إلى أن هذه البيانات بحاجة إلى تحويل، ننقر فوق الزر Transformations ثم الزر New، ندخل اسم طريقة التحويل الجديدة كما ننتق طريقة Abridged Molodensky من القائمة المنسدلة Method Name:



الشكل 5-19 انتقاء طريقة التحويل في صندوق حوار New Geographic Transformation

نقوم بعد ذلك بإدخال وسطاء التحويل، وننقر فوق الزر موافق لحفظ الطريقة الجديدة.



الشكل 5-20 إدخال وسطاء التحويل

نعود إلى صندوق الحوار Geographic Coordinate Systems Warning وننقر فوق الزر إغلاق. منذ الآن فصاعداً سيقوم ArcGIS بعرض الطريقة الجديدة My Afgooye بالإضافة إلى الطرق الأخرى كلما أردنا تحويل بيانات بين هذه المرجعين الجيوديسيين.

يمكن إنشاء طريقة تحويل جديدة أيضاً باستخدام الأداة Create Custom Geographic Transformation في ArcToolbox:

ArcToolbox > Data Management Tools > Projections and Transformations



مشروع:

يراد إضافة طريقة تحويل في AutoCAD Map 3D من Afgooye إلى WGS 84 باستخدام طريقة Molodensky.

الحل:

تُعرف طريقة تحويل جديدة في AutoCAD Map 3D باستخدام الأمر Create Geodetic Transformation Definition:

Ribbon: Map Setup > Coordinate System > Create > Create Geodetic Transformation Definition
Command: MAPSCREATE

في معالج إضافة طريقة التحويل نقوم بتحديد المرجع الجيوديسي المصدر Afgooye والهدف WGS، ونختار طريقة Molodensky (لا يدعم البرنامج الطريقة المختصرة)، ومن ثم ندخل وسطاء التحويل واسم الطريقة My Afgooye:

Create Geodetic Transformation

Task Overview

- 1 Create coordinate system
- 2 Create geodetic transformation
- 3 Select source and target datum
- 4 Select data conversion method
- 4a. Specify analytical formula values
- 5 Specify useful range
- 6 Review geodetic transformation

Review geodetic transformation

Datum

Target datum: WGS84 (World Geodetic System of 1984) Source datum: AFGOOYE (Afgooye, Somalia)

Analytical Formula Transformation

Geocentric Translation (meters)

Delta Xi	Delta Yi	Delta Zi
-43	-163	49

Axis Rotation of Arc (seconds)

X Axis	Y Axis	Z Axis
0	0	0

Axis Translation (meters)

X Axis	Y Axis	Z Axis
0	0	0

Scale (parts per million)

0

Useful Range

Minimum longitude: 0 Minimum latitude: 0

Maximum longitude: 0 Maximum latitude: 0

Code

My Afgooye

Description

My Afgooye

Test transformation: Yes

Back Finish Cancel Help

الشكل 21-5 معالج إضافة تحويل جيوديسي جديد في AutoCAD Map 3D

للتأكد من عمل التحويل بطريقة صحيحة انقر فوق الزر Test وقم باختبار تحويل بعض الإحداثيات، وإذا كانت النتائج مناسبة انقر فوق الزر Finish لحفظ طريقة التحويل.

منذ الآن فصاعداً سيقوم ArcGIS باستخدام الطريقة الجديدة My Afgooye كلما أردنا تحويل بيانات بين هذه المرجعين الجيوديسيين بدلاً من الطريقة المتوفرة في مكتبة البرنامج.

ORACLE
SPATIAL

مشروع:

يراد إضافة طريقة تحويل من Egypt 1907 إلى WGS 84 باستخدام طريقة Molodensky المختصرة حيث وسطاء التحويل لهذه المنطقة من مصر من Egypt 1907 إلى WGS 84 (عملية تحويل الإحداثيات رقم 1148 في قاعدة بيانات EPSG):

$$\Delta X = -130 \text{ m}$$

$$\Delta Y = +110 \text{ m}$$

$$\Delta Z = -13 \text{ m}$$

الحل:

من الجدول MDSYS.SDO_COORD_OP_METHODS نجد معرف طريقة Molodensky المختصرة 9605. نقوم بإضافة عملية على الإحداثيات إلى الجدول MDSYS.SDO_COORD_OPS:

```
SQL> INSERT INTO MDSYS.SDO_COORD_OPS (COORD_OP_ID, COORD_OP_NAME,
COORD_OP_TYPE, SOURCE_SRID, TARGET_SRID, COORD_TFM_VERSION,
COORD_OP_VARIANT, COORD_OP_METHOD_ID, UOM_ID_SOURCE_OFFSETS,
UOM_ID_TARGET_OFFSETS, INFORMATION_SOURCE, DATA_SOURCE, SHOW_OPERATION,
IS_LEGACY, LEGACY_CODE, REVERSE_OP, IS_IMPLEMENTED_FORWARD,
IS_IMPLEMENTED_REVERSE) VALUES (999999991, 'Egypt 1907 to WGS 84 / Abridged
Molodensky', 'TRANSFORMATION', 4229, 4326, NULL, NULL, 9605, NULL, NULL, NULL,
NULL, 1, 'FALSE', NULL, 1, 1, 1);
```

من الجدول MDSYS.SDO_COORD_OP_PARAM_USE نجد معرفات وسطاء هذه الطريقة هي:

8605: ΔX

8606: ΔY

8607: ΔZ

من الجدول MDSYS.SDO_UNITS_OF_MEASURE نجد معرفات وحدات القياس المطلوبة لتعريف التحويل:

9001: metre

نقوم بإضافة الوسيط الأول:

```
SQL> INSERT INTO MDSYS.SDO_COORD_OP_PARAM_VALS (COORD_OP_ID,
COORD_OP_METHOD_ID, PARAMETER_ID, PARAMETER_VALUE,
PARAM_VALUE_FILE_REF, UOM_ID) VALUES (999999991, 9605, 8605, -130, NULL, 9001);
```

وإضافة الوسيط الثاني:

```
SQL> INSERT INTO MDSYS.SDO_COORD_OP_PARAM_VALS (COORD_OP_ID,
COORD_OP_METHOD_ID, PARAMETER_ID, PARAMETER_VALUE,
PARAM_VALUE_FILE_REF, UOM_ID) VALUES (999999991, 9605, 8606, 110, NULL, 9001);
```

والثالث:

```
SQL> INSERT INTO MDSYS.SDO_COORD_OP_PARAM_VALS (COORD_OP_ID,
COORD_OP_METHOD_ID, PARAMETER_ID, PARAMETER_VALUE,
PARAM_VALUE_FILE_REF, UOM_ID) VALUES (999999991, 9605, 8607, -13, NULL, 9001);
```

يمكن التحكم بالطريقة المفضلة للتحويل بين مرجعين جيوديسيين على مستوى النظام أو مستوى المستخدم باستخدام البرنامج الفرعي ADD_PREFERENCE_FOR_OP في حزمة SDO_CS. إذا لم تكن قيمة USE_CASE فارغة نقوم بإضافة التفضيل على مستوى المستخدم في الجدول SDO_PREFERRED_OPS_USER، وإذا كانت فارغة نقوم بإضافة التفضيل على مستوى النظام في الجدول SDO_PREFERRED_OPS_SYSTEM، ويتم استخدام طريقة التحويل المفضلة من قبل جميع مستخدمي Oracle Spatial:

```
EXECUTE SDO_CS.ADD_PREFERENCE_FOR_OP (999999991, 4229, 4326);
```



مشروع:

يراد إضافة طريقة تحويل من Egypt 1907 إلى WGS 84 باستخدام طريقة الانتقال أرضي المركز حيث وسطاء التحويل لهذه المنطقة من مصر من Egypt 1907 إلى WGS 84 (عملية تحويل الإحداثيات رقم 1148 في قاعدة بيانات EPSG):

$$\Delta X = -130 \text{ m}, \Delta Y = +110 \text{ m}, \Delta Z = -13 \text{ m}$$

الحل:

نقوم بتعريف المرجع الجيوديسي Egypt 1907 في الملف MyCoordSysDefs.fme وذلك لتجاوز التعريف المبني في مكتبة البرنامج وبالتالي تجاوز طريقة التحويل الفطرية بين المرجعين الجيوديسيين Egypt 1907 و WGS 84:

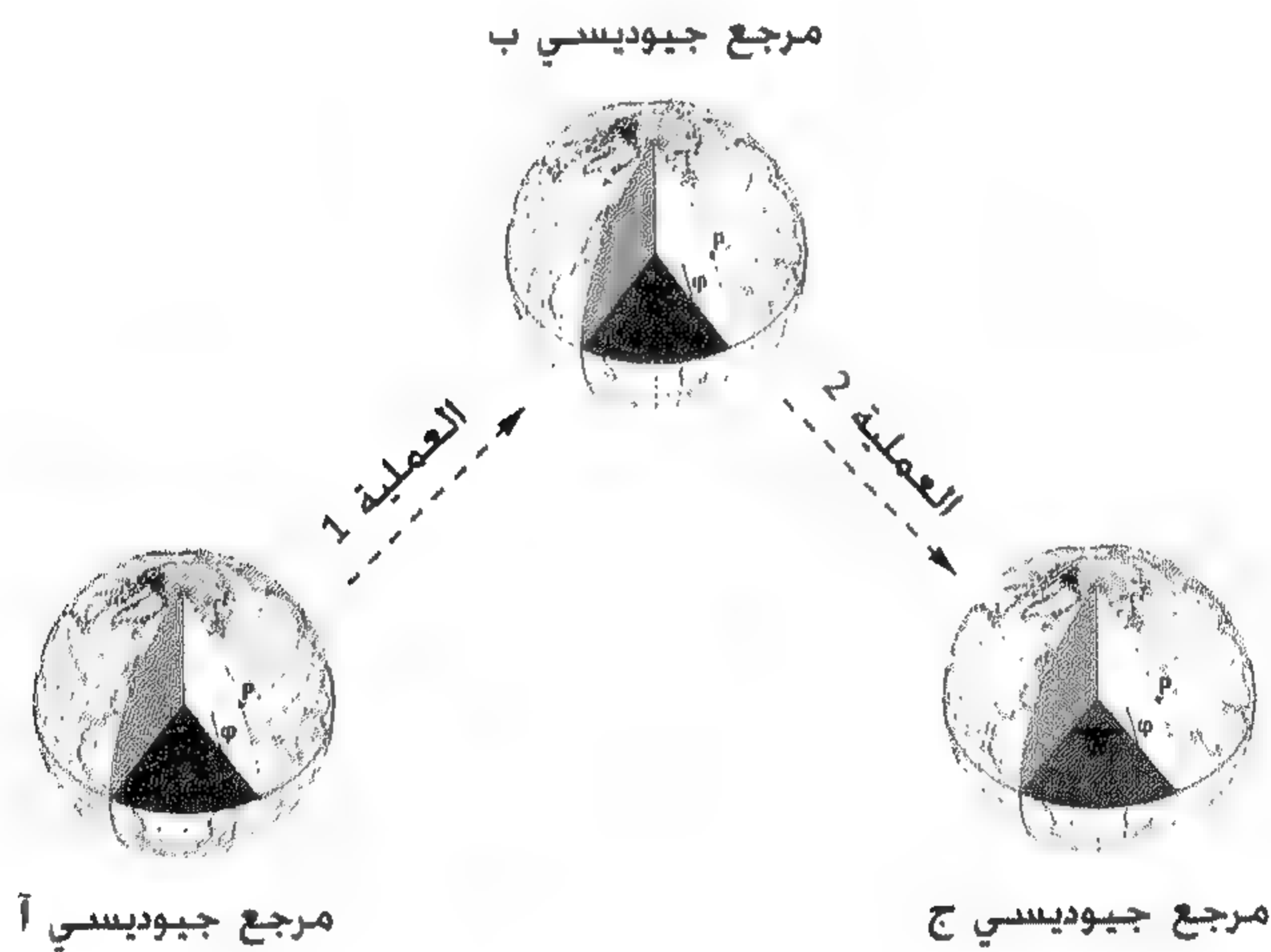
```

DATUM_DEF OLD_EGYP \
DESC_NM "Egypt 1907" \
SOURCE "EPSG 1148" \
ELLIPSOID HLMRT06 \
USE 3PARAMETER \
DELTA_X -130.000000 \
DELTA_Y 110.000000 \
DELTA_Z -13.000000

```

5.2.2.4.3 إنشاء طريقة تحويل مُسلسلة بين المراجع الجيوديسية

أحياناً لا تتوفر طريقة مباشرة للتحويل بين مرجعين جيوديسيين آ و ج، ولكن تتوفر طريقة للتحويل بين آ و ب، و ب و ج. يمكن في هذه الحالة إضافة طريقة تحويل مُسلسلة (concatenated) تضم عمليتي التحويل معاً في عملية واحدة.



الشكل 5-22 إنشاء طريقة تحويل مُسلسلة من طريقتين

مشروع:

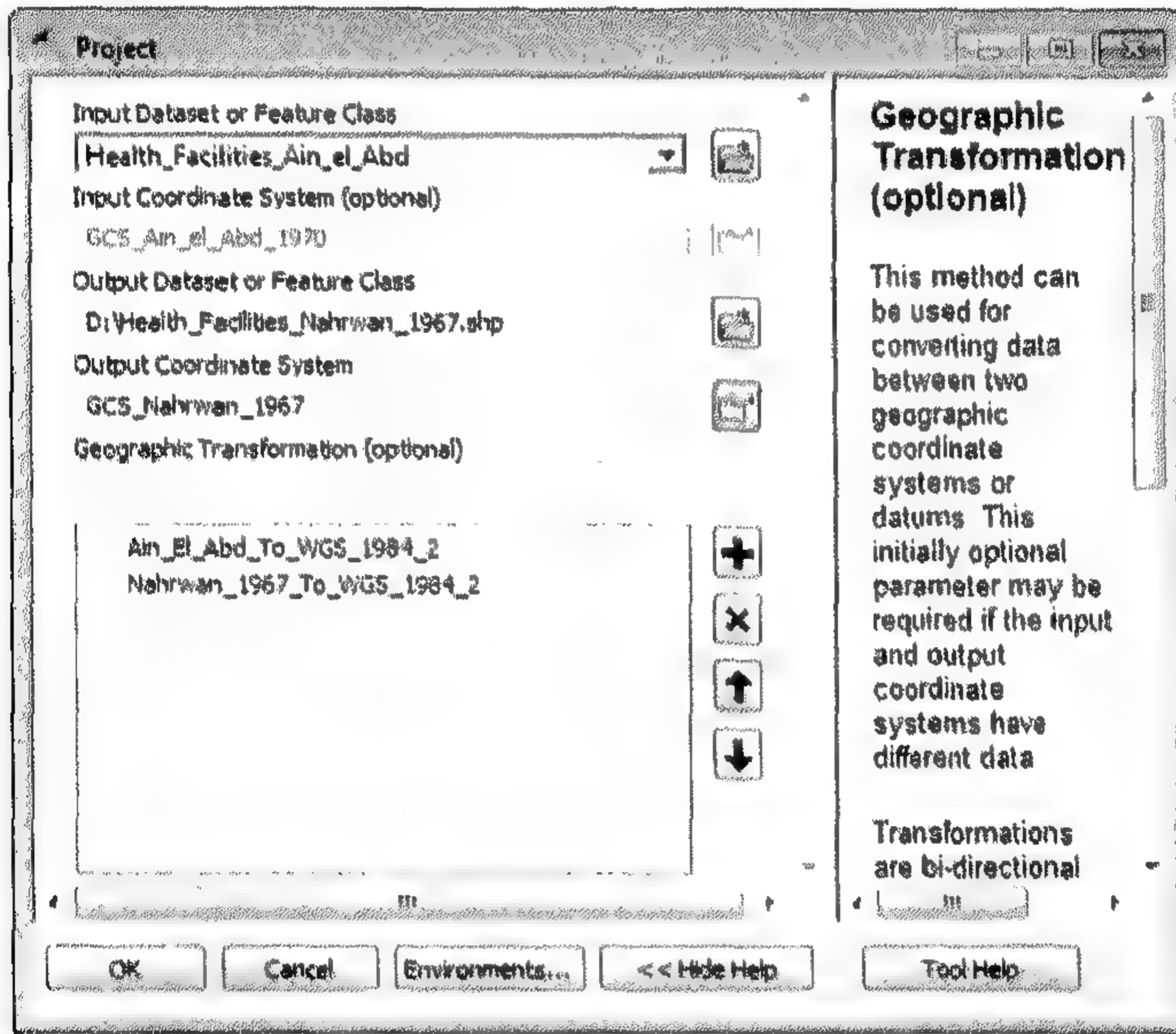
يراد تحويل بيانات المنشآت الصحية في مدينة جبيل في المملكة العربية السعودية ولا يوجد طريقة تحويل مباشرة من النظام المرجعي Ain el Abd (الرمز 4204) إلى Nahrwan 1967 (الرمز 4270) لاستخدامها. المطلوب إنشاء طريقة تحويل مُسلسلة بالاعتماد على WGS 84 (الرمز 4326) مبنية على التحويل من Ain el Abd إلى WGS 84 (العملية 1111) ومن WGS 84 إلى Nahrwan 1967 (العملية 1190).

الحل:



ArcGIS

عند تحويل البيانات في ArcGIS بين مرجعين جيوديسيين لا يتوفر بينهما طريقة تحويل مباشرة فإنه يسمح للمستخدم بإضافة أكثر من عملية تحويل بناءً على معلومات هذين المرجعين وبالطريقة التي تم شرحها في تحويل البيانات المكانية بين المراجع الجيوديسية (انظر 5.2.2.4.1 تحويل البيانات المكانية بين المراجع الجيوديسية):



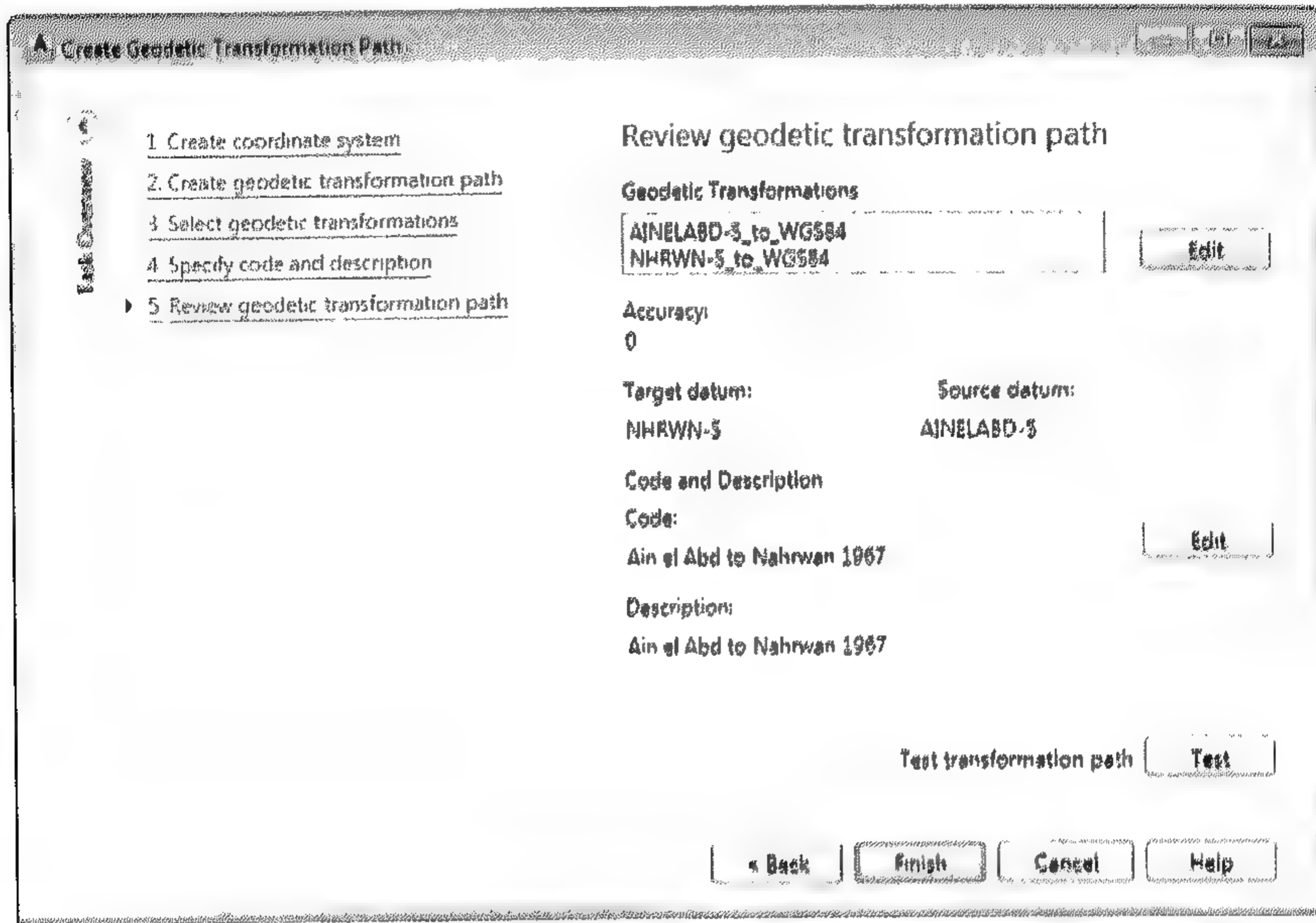
الشكل 5-23 إنشاء تحويل مسلسل في ArcGIS

AutoCAD[®]
Map 3D

تُعرف طريقة تحويل جديدة في AutoCAD Map 3D باستخدام الأمر Create Geodetic Transformation Path:

Ribbon: Map Setup > Coordinate System > Create > Create Geodetic Transformation Path

Command: MAPSCREATE



الشكل 24-5 إنشاء تحويل مسلسل في AutoCAD Map 3D



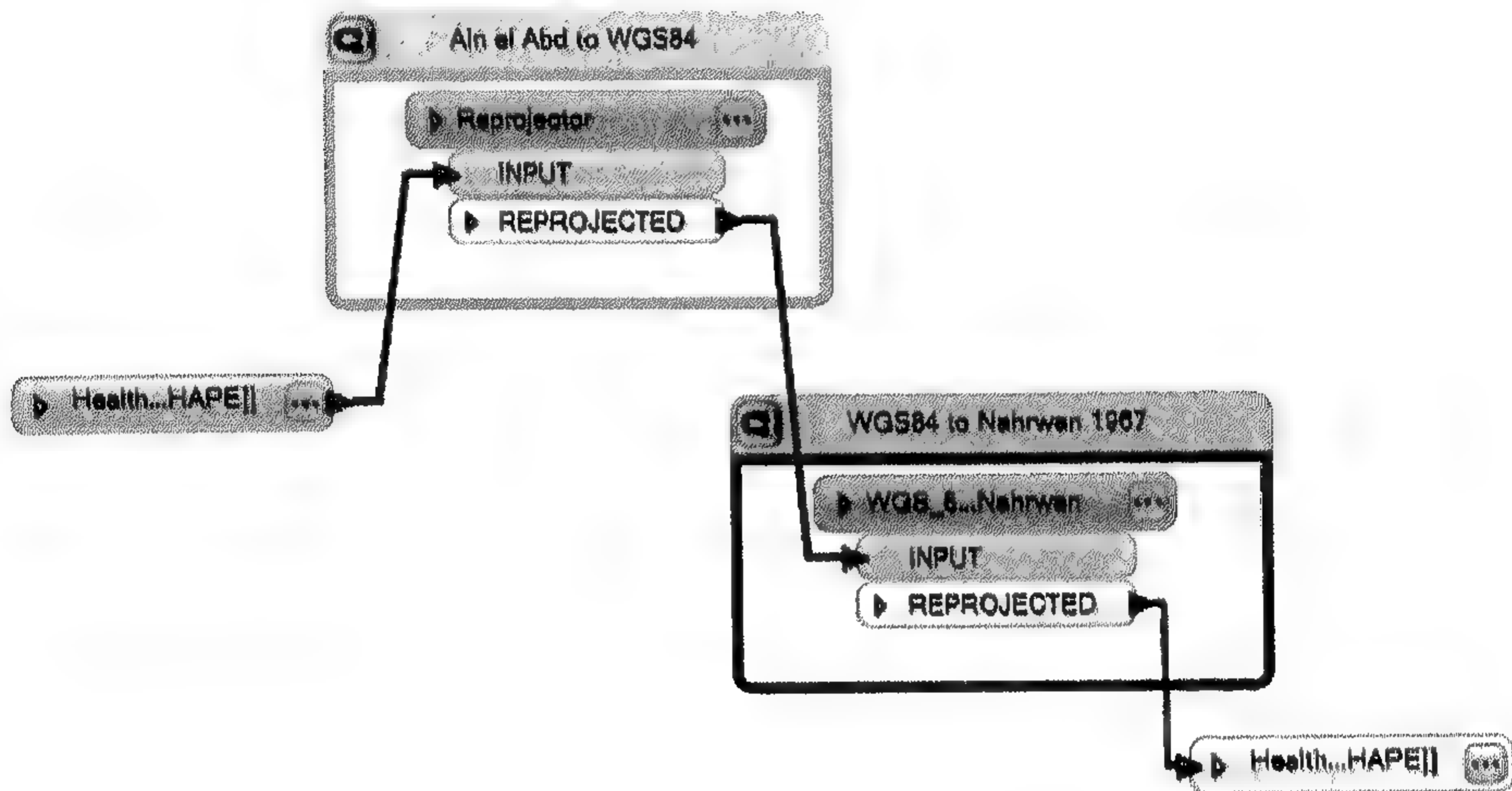
يمكن إنشاء طريقة تحويل سلسلة في Oracle Spatial باستخدام البرنامج الفرعي
CREATE_PREF_CONCATENATED_OP في حزمة SDO_CS:

```
SQL> DECLARE
2 BEGIN
3 SDO_CS.CREATE_PREF_CONCATENATED_OP (
4 999,
5 'AIN_EL_ABD_TO_NAHRWAN_1967',
6 TFM_PLAN(SDO_TFM_CHAIN(4202, 1111, 4326, -1190, 4270)),
7 NULL);
8 END;
9 /
PL/SQL procedure successfully completed.
```

لاحظ أن خطة التحويل تتألف من 5 معرفات هي: معرف عين العبد، معرف عملية التحويل الأولى، معرف WGS 84، معرف العملية الثانية مسبقة بإشارة (-) للدلالة على إنها العملية العكسية، ثم معرف نهران.

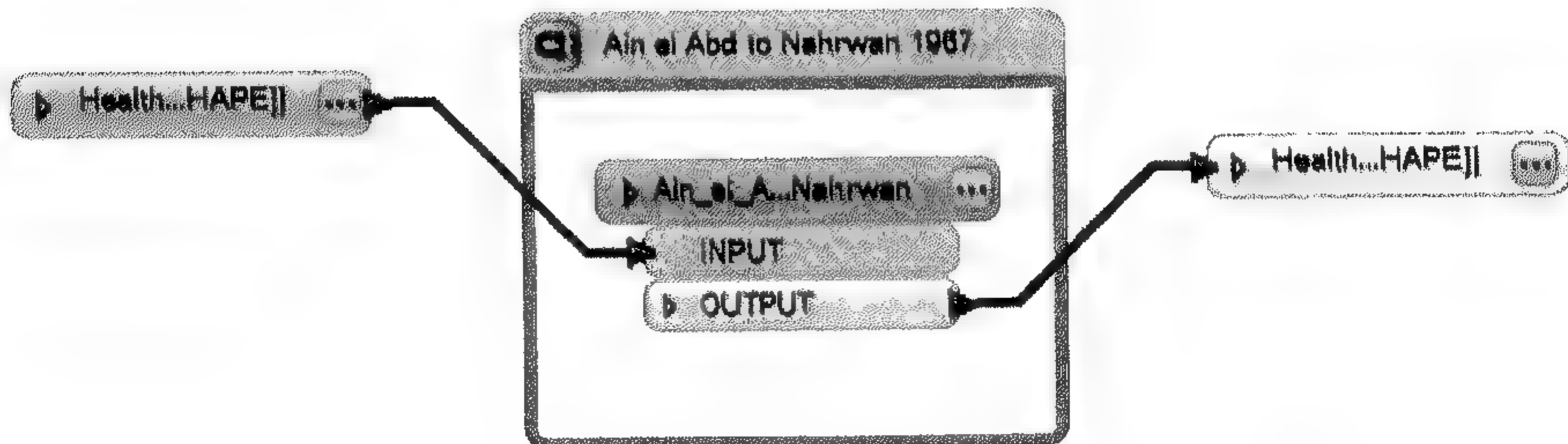


يدعم FME تسلسل العمليات بصورة ممتازة من خلال استخدام مجموعة من المحوّلات يكون ناتج كل محوّل منها دخلاً للمحوّل الذي يليه. المثال التالي يبين كيفية استخدام المحوّل Reprojector مرتين لتحويل البيانات من Ain el Abd إلى WGS 84 ومن WGS 84 إلى Nahrwan 1967:



الشكل 5-25 التحويل المُسلسل في FME

يمكن في حال الحاجة إنشاء محوّل مخصّص (custom transformer) من مجموعة المحوّلات هذه وحفظه في مكتبة البرنامج في FME، وبذلك يمكن استخدام التحويل المخصص بدلاً من استخدام مجموعة من عدة محوّلات:



الشكل 5-26 التحويل المُسلسل في FME باستخدام محوّل مخصص

5.2.3. التحويلات في النظام المرجعي للإحداثيات الرأسية

ثمة نوعان من تحويلات الارتفاع (أو العمق)، الأولى بين الارتفاع الجيوديسي المقيس على سطح المجسم الإهليلجي ونوع آخر من الارتفاعات معتمد على مرجع رأسي مثل سطح الجيويثيد، والنوع الثاني من هذه التحويلات يكون بين المراجع الرأسية.

5.2.3.1. بين الارتفاع الجيوديسي والارتفاع المعتمد على الجاذبية

تقع هذه من التحويلات في النوع الأول، ويكون بين الارتفاع الإهليلجي (أو العمق الإهليلجي) المقيس على سطح المجسم الإهليلجي وبين الارتفاع المقيس على مرجع رأسي يعتمد على نموذج الجاذبية، وبصورة عامة يسمى هذا التحويل تصحيح الارتفاع (height correction).



الشكل 5-27 التحويل بين المراجع الرأسية

كما مر معنا، يمكن حساب الفرق بين الارتفاع الإهليلجي h والارتفاع الأورثومتري H (يسمى الارتفاع المعتمد على الجاذبية في قاعدة بيانات EPSG) بالاعتماد على تموج الجيويثيد N بالمعادلة:

$$H = h - N$$

يتناول علم الجيوديسيا أنواعاً مختلفة من الارتفاعات المعتمدة على الجاذبية تقع خارج نطاق هذا الكتاب، ويمكن كتابة المعادلة السابقة بصورة أكثر شمولية كما يلي:

$$H = h - \zeta$$

حيث ζ قيمة التصحيح وتُستخرج باستخدام طريقة الاستنباط الداخلي من شبكة فروق الارتفاع، مثل قيم تموج الجيويثيد.



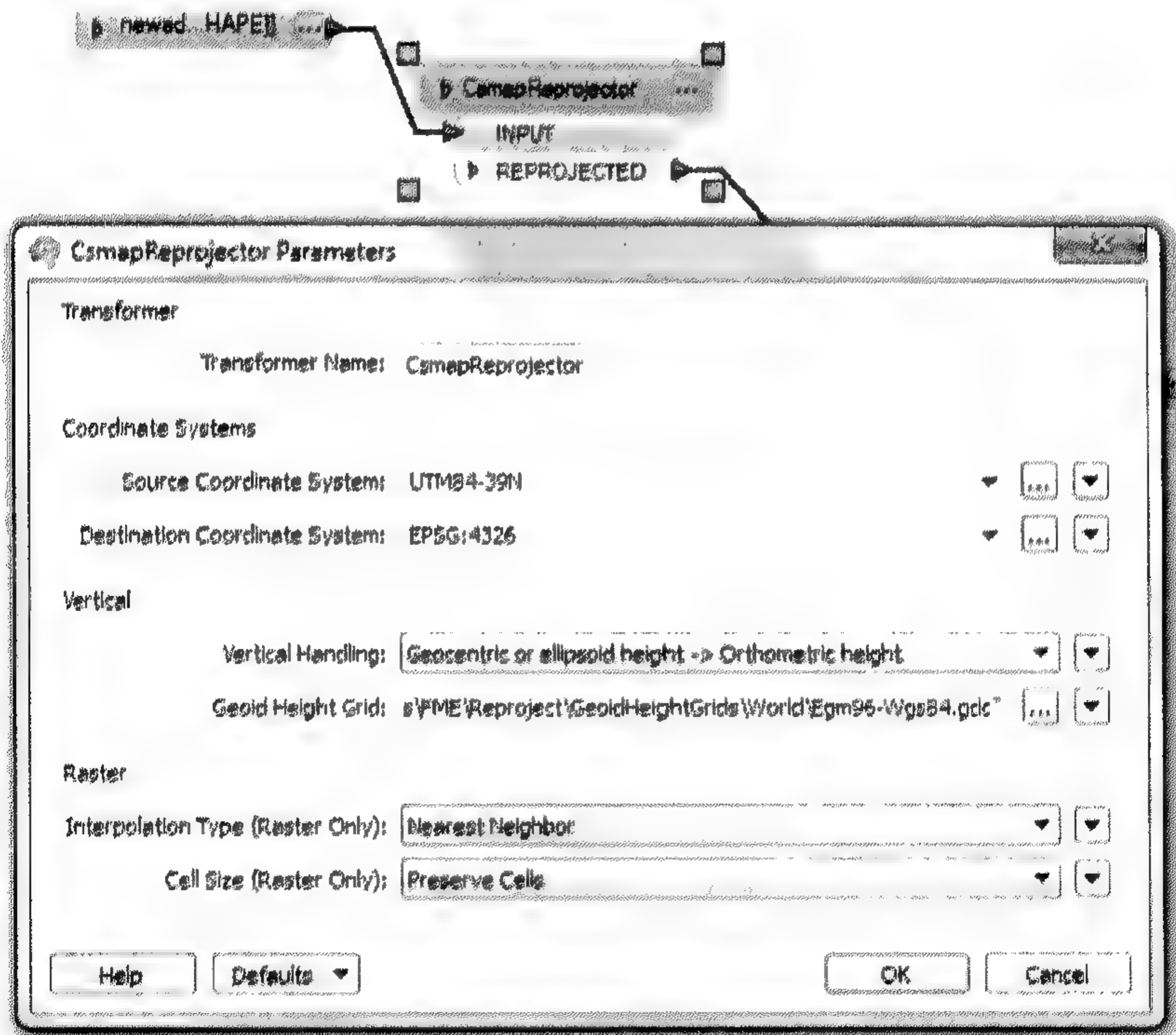
ArcGIS

يتوفر في برنامج ArcGIS نموذج لتصحيح الارتفاعات باستخدام المعادلة أعلاه بالاعتماد على نموذج الجيويثيد EGM96 في المجلد:

C:\Program Files\ArcGIS\Desktop10.0\pdata\geoid



يمكن في Workbench FME استخدام المحوّل CsmarReprojector للتحكم بتحويل الإحداثيات الرأسية أثناء تحويل البيانات المتجهة. المثال التالي يقوم بتحويل الارتفاع الإهليلجي إلى ارتفاع أورثومتري معتمد على نموذج الجيويثيد EGM96:



الشكل 5-28 تحويل الارتفاع الإهليلجي إلى ارتفاع أورثومتري في FME



تقدم العديد من المواقع خدمة فورية لحساب تموج الجيوييد لأي نقطة (λ, φ) بالاعتماد على نماذج الجيوييد العالمية وباستخدام طرق الاستكمال الداخلي، ويطلق على هذه الخدمة حاسبة الجيوييد (geoid calculator) ويمكنك العثور على العديد من هذه الخدمات على إنترنت. ومن الأمثلة على ذلك حاسبة الجيوييد EGM96 التي توفرها وكالة الاستخبارات الجيومكانية الوطنية (NGA) على موقعها:

<http://earth->

info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm96/intpt.html

مشروع:

يراد تحويل الارتفاع الإهليلجي h المقيس على نظام تحديد المواقع العالمي لنقطة في واحة ليوا (Liwa Oasis) في المنطقة الغربية بدولة الإمارات العربية المتحدة إلى ارتفاع معتمد على الجاذبية H وتحديدًا سطح الجيوييد EGM96. علماً بأن إحداثيات النقطة (λ, φ, h) في WGS 84:

$$\varphi = 23^{\circ}8'2.34"N$$

$$\lambda = 53^{\circ}47'55.55"E$$

$$h = 106.82 \text{ m}$$

الحل:

نجد تموج الجيوييد في النقطة المذكورة -33.18 م باستخدام حاسبة الجيوييد المتوفرة في موقع NGA مثلاً، أي إن الجيوييد يقع تحت سطح الجسم الإهليلجي، ومن العلاقة السابقة:

$$H = 106.82 - (-33.18) = 140 \text{ m}$$

5.2.3.2. الإزاحة الرأسية

تستخدم الإزاحة الرأسية (vertical offset) للتحويل بين الأنظمة المرجعية للإحداثيات الرأسية، بما في ذلك قياسات الارتفاع والعمق.

5.2.3.2.1. الإزاحة الرأسية المعتمدة على معادلة

تتم الإزاحة الرأسية المعتمدة على معادلة بإضافة وسيط تصحيح (correction parameter) إلى قيمة الإحداثيات في النظام المرجعي المصدر باستخدام المعادلة العامة التالية:

$$X_2 = \frac{m (X_1 \times U_1) + (A_{1>2} \times U_A)}{U_2}$$

حيث:

X_1 : قيمة الإحداثيات في النظام المرجعي المصدر

X_2 : قيمة الإحداثيات في النظام المرجعي الهدف

m : ثابت يستخدم لتمثيل التغير في اتجاه قياس الإحداثيات الرأسية، ويساوي +1 إذا كانت القياسات على كلا النظامين المرجعين في اتجاه واحد، أي تحويل ارتفاع إلى ارتفاع أو تحويل عمق إلى عمق، ويساوي -1 في الحالات الأخرى.

$A_{1>2}$: قيمة الإزاحة للتحويل من النظام المرجعي الأول إلى الثاني.

U_1 و U_2 و U_A : نسب التحويل بين وحدات القياس المستخدمة في النظامين المرجعين الأول والثاني والإزاحة على التوالي.

للتحويل العكسي من النظام المرجعي الثاني إلى الأول تصبح المعادلة كما يلي:

$$X_1 = \frac{m ((X_2 \times U_1) + (-A_{1>2} \times U_A))}{U_2}$$

مشروع:

يراد تحويل ارتفاع نقطة ويبلغ 2.55 م في نظام KOC CD Height المبني على الجاذبية إلى نظام KOC WD Depth وهما نظامين مستخدمين في شركة نفط الكويت، علماً بأن وحدة القياس في النظام الأول هي المتر وفي النظام الثاني القدم، وأن قيمة الإزاحة:

$$A_{1>2} = 15.55 \text{ ft}$$

الحل:

نظراً للاختلاف في اتجاهي المحورين في النظامين:

$$m = -1$$

وبما إن وحدات القياس مختلفة أيضاً:

$$U_A = \frac{0.3048}{1}, U_1 = \frac{1}{1}, U_2 = \frac{0.3048}{1}$$

إذاً:

$$X_2 = \frac{-1 (2.55 \times 1) + (15.55 \times 0.3048)}{0.3048} = 7.18 \text{ ft}$$

5.2.3.2.2. الإزاحة الرأسية المعتمدة على شبكة

كما مر معنا سابقاً في التحويل المعتمد على شبكة (grid-based) تُقسم المنطقة المراد تحويلها إلى شبكة من الخلايا (cells) ثم يصار إلى تسجيل الفروق بين الإحداثيات المنسوبة إلى النظامين المرجعيين في كل خلية، وتكرار تسجيل هذه الفروق ضمن الخلية الواحدة عدة مرات على مسافات متساوية، ومن ثم إنشاء نموذج بهذه الفروق في صورة معادلة رياضية، وبدلاً من الوسطاء يتطلب التحويل المعتمد على الشبكة ملفاً (قاعدة بيانات) توفرها الجهة المختصة.

يتم تحويل إحداثيات أي نقطة من مجسم إلى آخر بالاعتماد على نموذج الفروق وباستخدام طريقة الاستكمال الداخلي ثنائي الخطية (bi-linear interpolation).

تهدف الإزاحة الرأسية المعتمدة على شبكة إلى تسجيل فروق الإحداثيات الرأسية المنسوبة إلى المرجعين الرأسين في كل خلية. ولكي يكون لهذه الفروق معنى يجب تسجيل الفروق بين الإحداثيات الجغرافية ثنائية الأبعاد (فروق خط الطول، فروق دائرة العرض) أيضاً وذلك لأغراض الإسناد المكاني لفروق الإحداثيات الرأسية فقط. ومن هذه التحويلات:

- VERTCON: يرمز لهذه الطريقة في قاعدة بيانات EPSG بالعملية 9658 على الإحداثيات. تستخدم VERTCON في هيئة المساحة الجيوديسية الوطنية الأمريكية للتحويل بين نظامي الارتفاعات NGVD29 و NAVD88 المعتمدين على الجاذبية.

بعد إيجاد قيمة الفرق في الإحداثي الرأسي للنقطة المطلوبة بين المرجعين الرأسين باستخدام الاستكمال الداخلي يتم إيجاد قيمة الإحداثي الرأسي للنقطة في النظام المرجعي الهدف باستخدام طريقة الإزاحة الرأسية المعتمدة على معادلة (انظر 5.2.3.1 الإزاحة الرأسية المعتمدة على معادلة).

AutoCAD® Map 3D

ملفات VERTCON متوفرة في AutoCAD Map 3D في المجلد:

C:\ProgramData\Autodesk\Geospatial Coordinate Systems 2013\Usa\Nadcon

ORACLE® SPATIAL

يمكن إنشاء طريقة تحويل جديدة في Oracle Spatial بالاعتماد على شبكة بين مرجعين رأسيين بذات الطريقة التي سبق شرحها في التحويل بين مرجعين جيوديسيين (انظر 5.2.2.4.2 إنشاء طريقة تحويل جديدة بين المراجع الجيوديسية) ويكون ذلك بإضافة عملية جديدة على الإحداثيات إلى الجدول MDSYS.SDO_COORD_OPS، وإدراج سجل جديد في الجدول SDD_COORD_PARAM_VALS يشير إلى معرف العملية الجديدة في الحقل COORD_OP_ID، ثم إدخال اسم الملف في الحقل PARAM_VALUE_FILE_REF وإدراج محتويات الملف النصي الذي يمثل الفروق بين الارتفاعات في الحقل PARAM_VALUE_FILE.



ملفات VERTCON متوفرة في FME في المجلد:

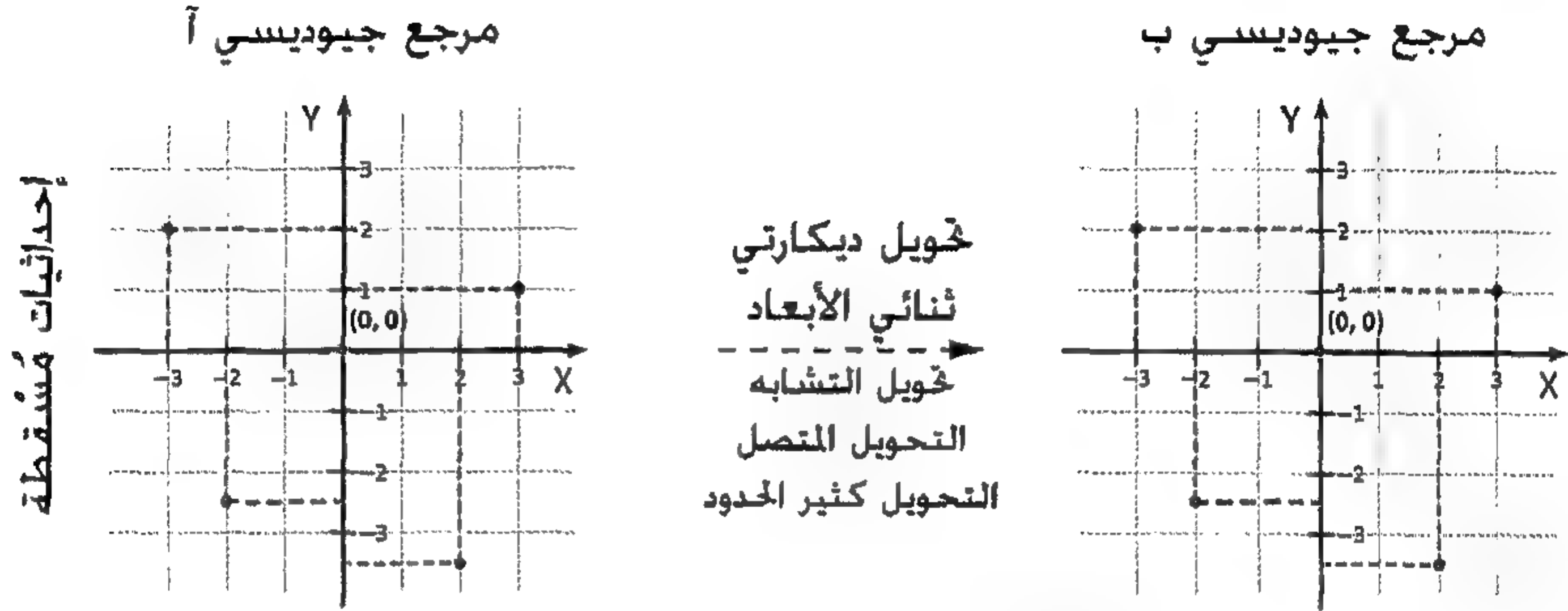
C:\Program Files\FME\Reproject\GridData\Vertcon

5.3. عمليات أخرى على الإحداثيات

بالإضافة إلى العمليات السابقة تتوفر مجموعة أخرى من العمليات يمكن استخدامها لتنفيذ مهام مختلفة:

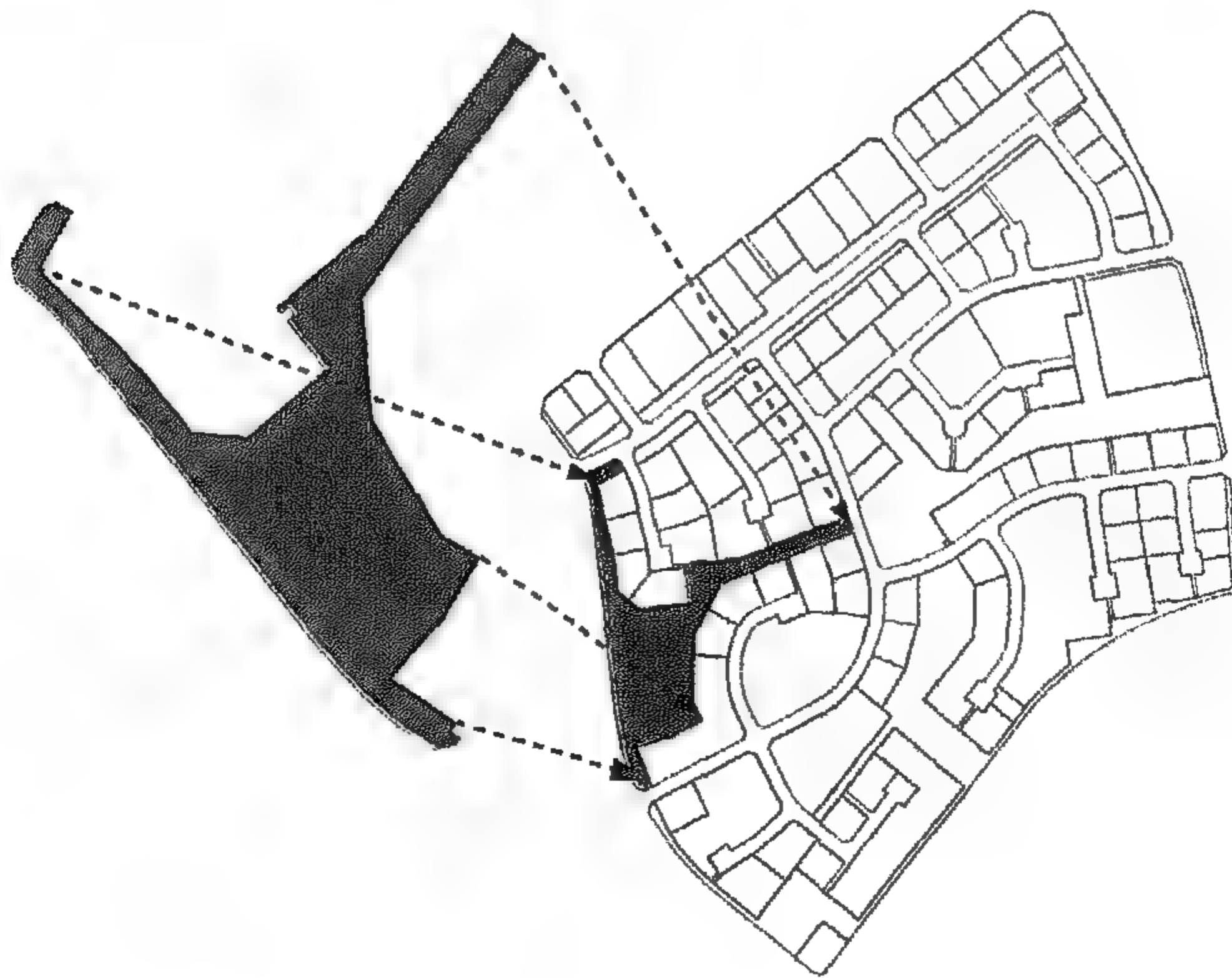
- تحويل الإحداثيات بين نظامين مرجعيين للإحداثيات المُسقَّطة يعتمدان المرجع الجيوديسي ذاته أو مرجعين جيوديسيين مختلفين.
- التحويل بين الإحداثيات الجغرافية ثنائية الأبعاد.
- الإسناد الجغرافي (georeferencing) للصور الجوية وصور الأقمار الاصطناعية والصور المسوحة (scanned)، ويعني ذلك مواءمة (alignment) هذه البيانات المتسامة مع بيانات مكانية أخرى.

- تصحيح الإحداثيات المقيسة على مرقم (digitizer) من خريطة مطبوعة.
- تخفيف التشوهات التي تعاني منها الخرائط المطبوعة، وبخاصة القديمة منها.
- مواءمة البيانات المكانية المتجهة التي تعاني من تشوهات.



الشكل 29-5 عمليات أخرى على الإحداثيات

تُنَفَّذ هذه التحويلات بتعريف مجموعة من أزواج نقاط التحكم (control points)، يتألف كل زوج منها من نقطة تحكم أولى في النظام المرجعي المصدر أو البيانات المراد تحويلها ومن نقطة تحكم ثانية مقابلة لها في النظام المرجعي الهدف، حيث تمثل أزواج نقاط التحكم مقدار التحويل المطلوب، حسب نوع التحويل.



الشكل 30-5 تعريف نقاط التحكم في مواءمة بيانات مكانية مع بيانات مكانية أخرى

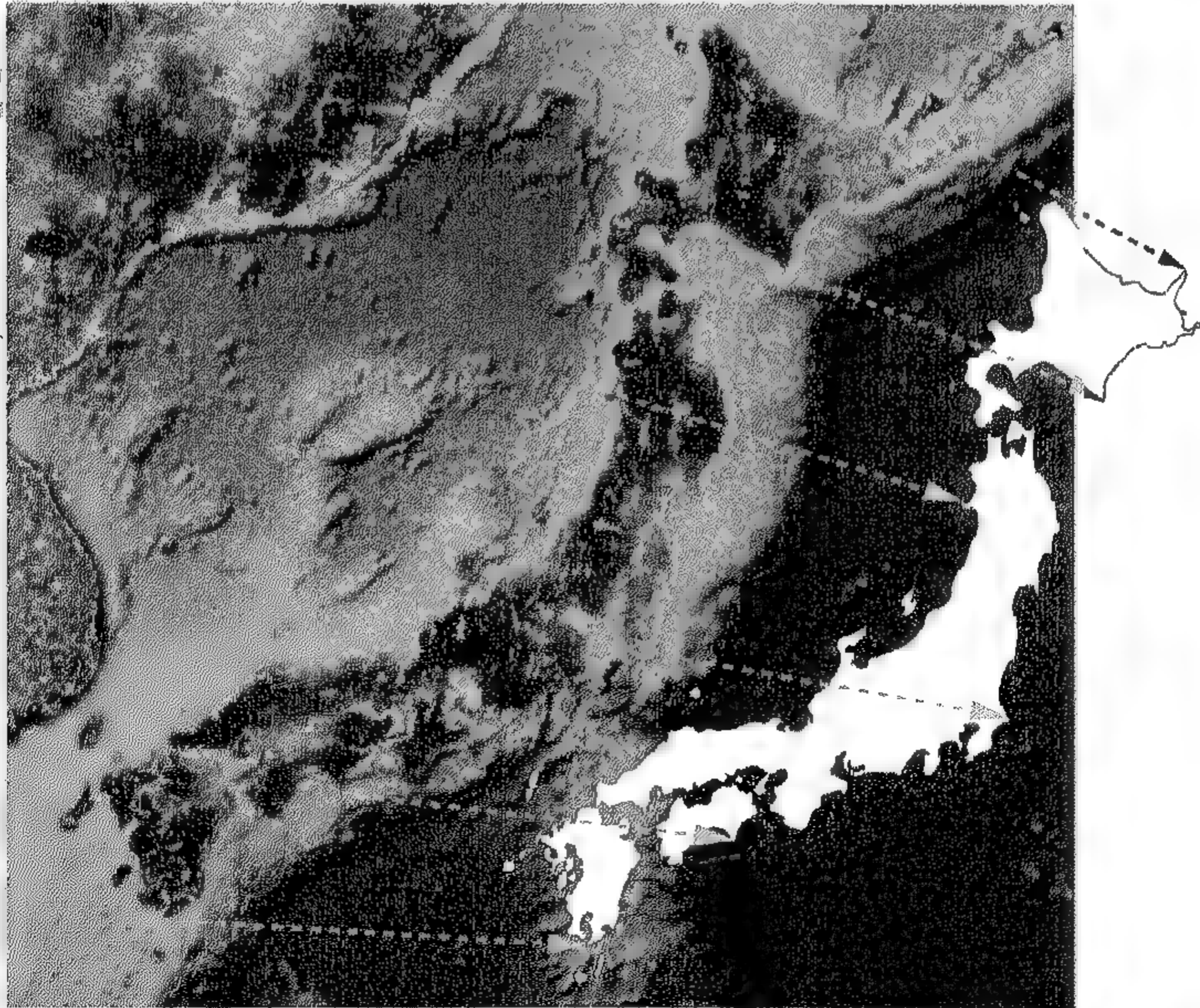


تعاني بعض البيانات المكانية من أخطاء في الدقة وانخفاض في الجودة لأسباب مختلفة، ويمكن أن تتراكم هذه المشكلة وتتطور إلى مشكلة ثانية عندما تستخدم لإنشاء بيانات أخرى منها أو في محاذاتها، مثل رسم خطوط الخدمات بالاعتماد على بيانات المباني أو الطرق. وعندما يتم إصلاح البيانات الأصلية أو جمعها من جديد بدقة مرتفعة يظهر التضارب بين البيانات: تمر خطوط الخدمات فوق المباني، ولا تنطبق بيانات الطرق مع بيانات التخطيط العمراني، الخ.

ستواجهك في حياتك العملية عدة تحديات تتعلق بمواءمة البيانات، وربما ستكون مسؤولاً عن أحد مشروعات مواءمة البيانات بين الجهة التي تعمل فيها وجهة أخرى.

تسمى أزواج نقاط التحكم بأسماء مختلفة، فهي وصلات الانزياح في ArcGIS ومتجهات التحكم في FME.

بصورة عامة، ينصح بانتقاء نقاط تحكم واقعة في الأطراف الأربعة للصورة الجوية أو مجموعة البيانات، ثم انتقاء نقاط تحكم أخرى موزعة داخل الصورة أو البيانات، وذلك للحصول على أفضل النتائج.



الشكل 5-31 مواءمة صورة قمر اصطناعي مع بيانات مكانية



ArcGIS



ثمة أداة في شريط الأدوات Effects في ArcGIS ذات فائدة للمستخدم أثناء انتقاء أزواج نقاط التحكم هي الأداة Swipe Layer والتي يمكن باستخدامها إخفاء جزء من البيانات بحيث يمكن رؤية ما تحتها من بيانات أخرى. المثال التالي يبين طريقة استخدام هذه الأداة:



الشكل 5-32 الأداة Swipe Layer في ArcGIS Layer



ArcGIS



يتوفر في شريط الأدوات Georeferencing في النسخة 10.1 من ArcGIS الأداة Auto Registration التي تسمح بمطابقة صورتين تلقائياً بالاعتماد على التوقيع الطيفي (spectral signature)، ولذلك تعمل هذه الأداة على الصور الجوية وصور الأقمار الاصطناعية فقط. يقوم المستخدم بمطابقة الصورة المطلوب إسنادها جغرافياً يدوياً مع الصورة التي يستخدمها مرجعاً، وللوصول إلى نتائج صحيحة يجب أن يكون لكلا الصورتين خصائص متقاربة مثل تاريخ الالتقاط وتشابه الطقس ومقياس الصورة وتوجيهها الخ.

تعكس الأداة Auto Registration في ArcGIS ما تسعى الأبحاث النظرية الحديثة في التقنيات المكانية إلى تحقيقه من توليد طرق لمطابقة البيانات المكانية المتجهة والمتسامتة تلقائياً، لكن هذه الأبحاث لم تنضج بعد بحيث تصبح أدوات متوفرة.

5.3.1. انتقاء نقاط التحكم وتقييم دقة التحويل

لا تعاني البيانات المتجهة (vector) من صعوبات في انتقاء نقاط التحكم كما تعاني البيانات المتسامتة (raster) مثل الصور الجوية وصور الأقمار الاصطناعية، نظراً لطبيعة البيانات المتجهة التي يمكن الوثب (snap) إلى النقاط المميزة فيها مثل التقاطعات وأطراف الخطوط تلقائياً.

معظم الصور التي يتعامل معها المستخدم هي صور مصحّحة، وتستخدم الشركات مجموعة من العلامات الأرضية المعدة سابقاً أثناء التصوير، منها علامات متوفرة وأخرى اصطناعية تُنشأ خصيصاً لمشروع التصوير الجوي في المناطق الواسعة التي لا تتوفر فيها معالم يمكن استخدامها كعلامات تحكم.

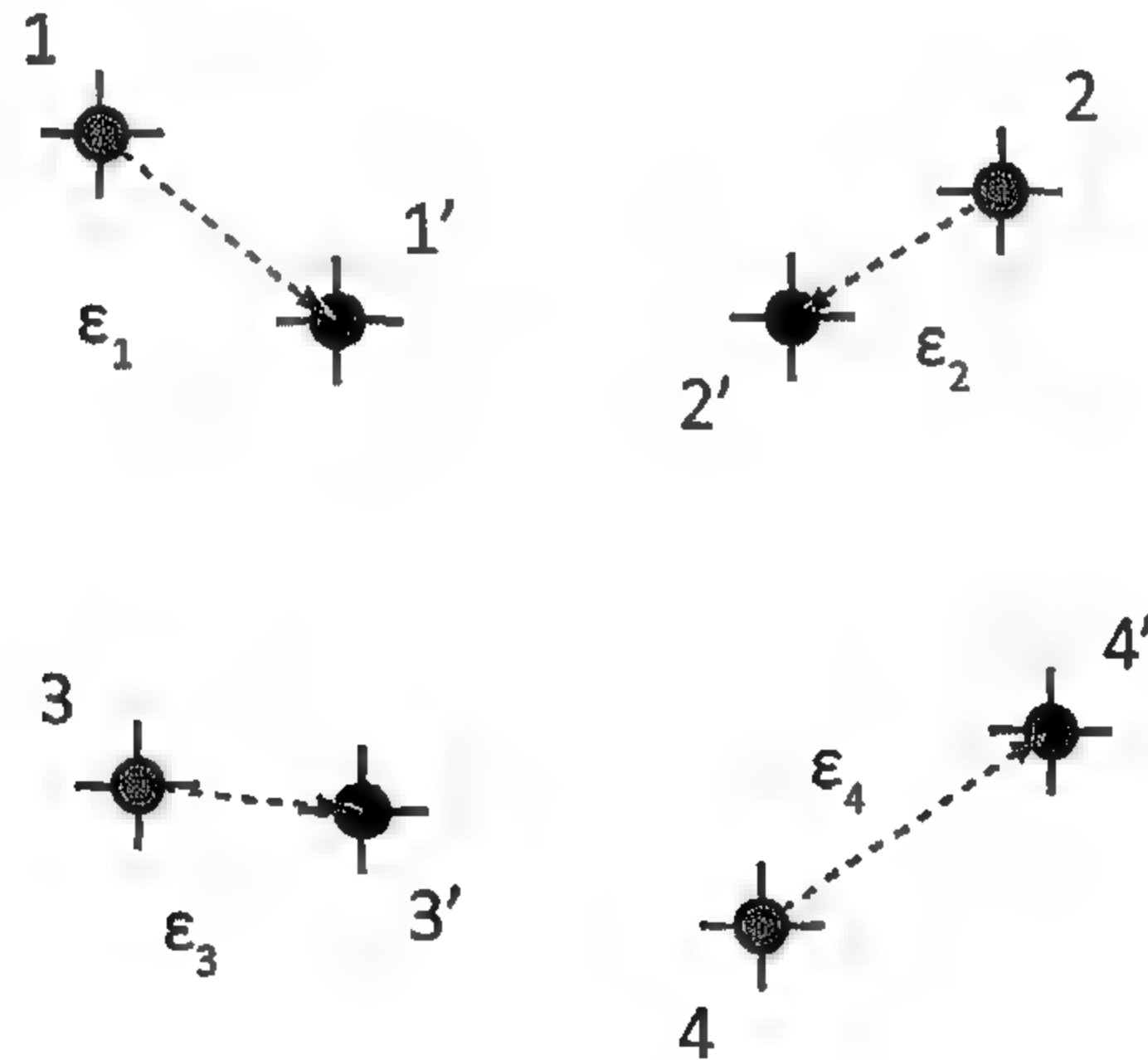
بالنسبة إلى المستخدم العادي يمكنه عند إسناد البيانات المتسامتة جغرافياً أو تحويلها انتقاء نقاط التحكم كما يلي (انظر 2.5 المواصفات القياسية الوطنية):

- انتقاء نقاط التحكم موزعة بصورة مناسبة في الصورة.
- انتقاء نقاط تحكم في أطراف الصورة.
- يجب ألا تكون نقاط التحكم واقعة على خط واحد.
- انتقاء عدد أقل من نقاط التحكم وبدقة عالية أفضل من انتقاء عدد كبير منها بدقة منخفضة.
- يجب أن تكون نقاط التحكم معالم ظاهرة يمكن تمييزها بوضوح في الصورة، مثل تقاطعات الطرق، التواءات الصخرية، والمعالم المميزة على الشواطئ.
- في الصور غير المصحّحة عمودياً يجب اختيار أزواج نقاط التحكم بحيث تكون واقعة في مستو واحد.

بعض البرمجيات تسمح بتصدير نقاط التحكم التي يعرفها المستخدم إلى ملف نصي كذلك لاستخدامها في المستقبل دون الحاجة إلى تعريفها من جديد. المثال التالي يوضح ملفاً نصياً تم فيه تخزين ستة أزواج من نقاط التحكم وإحداثياتها قبل وبعد التحويل:

X Source	Y Source	X Destination	Y Destination
185.786004476	232686125.972419	-281.101743	
1644.8606712009	242995-2279.1896241940	866140-	
634.193115-1405.571836	-232.343222-1929.047162-		
2332.266003235	806142-2308.737070121	545538	
812.502117740	444528-1008.649478753	058841-	
981.648288-1260.4497211239	119551-1397.193148		

يمكن استنتاج التحويل من معرفة إحداثيات نقاط التحكم في النظامين المرجعيين المصدر والهدف حسب نوع التحويل، بحيث تكون المواءمة أفضل ما يمكن بين نقاط التحكم في النظامين المرجعيين المصدر والهدف. مع ذلك، فإن نقاط تحكم المصدر لن تتطابق دائماً مع نقاط تحكم الهدف مطابقة تامة.



الشكل 33-5 الأخطاء المتبقية ϵ بين نقاط تحكم المصدر والهدف

تسمى هذه الفروق الأخطاء المتبقية (residuals or residual errors) وهي تمثل مقدار الفرق ϵ بين إحداثيات نقاط تحكم المصدر بعد التحويل وإحداثياتها المفترضة بعد التحويل.

ويمكن من معرفة الأخطاء المتبقية إيجاد دقة التحويل بحساب الخطأ متوسط التربيع (root-mean-square error: RMSE) كما يلي (انظر 2.5 المواصفات القياسية الوطنية):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\epsilon_1^2 + \epsilon_2^2 + \dots + \epsilon_n^2}{n}}$$

حيث ϵ الخطأ المتبقي بعد التحويل و n عدد أزواج نقاط التحكم.

بصورة عامة يجب انتقاء أزواج نقاط التحكم بحيث تكون قيمة RMSE أصغر ما يمكن. لذلك توفر البرمجيات تقريراً بقيمة RMSE قبل تنفيذ التحويل، وتوفر أيضاً معلومات الخطأ المتبقي لكل زوج من أزواج نقاط التحكم. تساعد هذه المعلومات على حذف أزواج نقاط التحكم التي تتسبب بقيمة مرتفعة للخطأ المتبقي، كما تساعد معرفتنا بقيمة RMSE على اتخاذ القرار بالاستمرار بعملية التحويل أو إعادة تعريف أزواج نقاط التحكم. عند تنفيذ الإسناد الجغرافي لصورة جوية، مثلاً، يجب انتقاء نقاط التحكم بحيث تكون قيمة RMSE مساوية أو أقل من حجم البكسل الواحد.



ArcGIS

يمكن في ArcGIS حذف وصلات الانزياح (أزواج نقاط التحكم) والتحقق من معلومات الأخطاء المتبقية والخطأ متوسط التربيع في شريطي الأدوات Georeferencing و Spatial Adjustment بالنقر فوق View Link Table في شريط الأدوات.

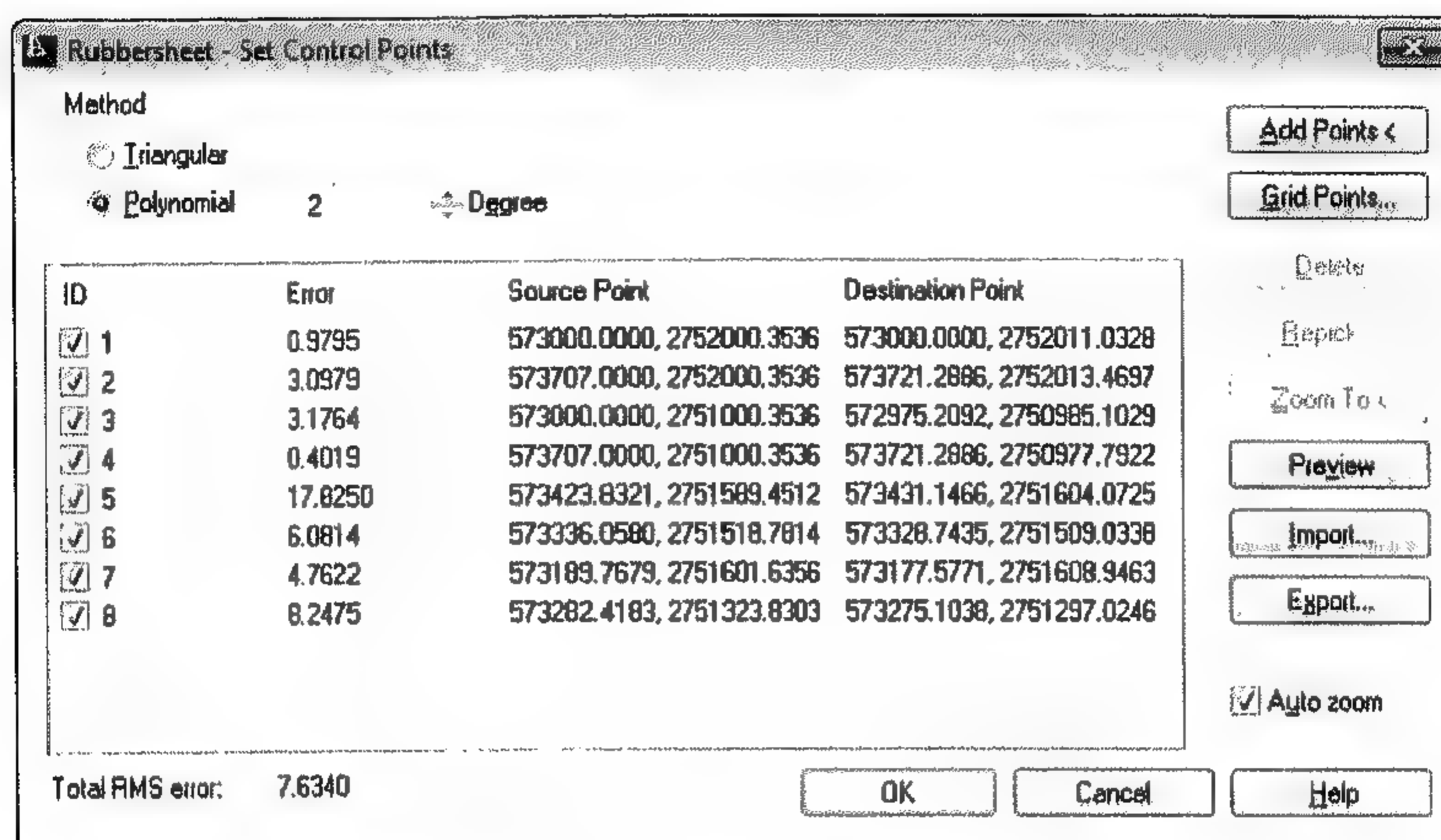
ID	X Source	Y Source	X Destination	Y Destination	Residual Error
1	-97.387480	97.096069	41.235889	31.366810	0.961544
2	-152.775891	48.874225	-14.830486	-20.294350	0.999612
3	-105.894875	-6.764783	38.139613	-75.857127	1.031122
4	-50.466817	37.794043	93.130648	-24.190684	0.993054

RMS Error: 0.996639

الشكل 5-34 تقييم دقة التحويل في ArcGIS

AutoCAD[®]
Map 3D

يمكن حذف أزواج التحكم ومعاينة الأخطاء المتبقية والخطأ متوسط التربيع أثناء تعريف نقاط التحكم وقبل تنفيذ التحويل باستخدام الأمر Rubber Sheet في الملحق Raster Design في AutoCAD Map 3D.



الشكل 5-35 تقييم دقة التحويل في AutoCAD Map 3D



يُخزّن Oracle Spatial معلومات الأخطاء المتبقية والخطأ متوسط التربيع عند تحويل البيانات المتسامة في كائن من النوع SDO_GEOR_GCPGEOREFTYPE (انظر المثال في 5.3.5 التحويل المتصل).

في طرق التحويل التي تستخدم نقاط التحكم يُخزّن Oracle Spatial أزواج نقاط التحكم في ما وراء البيانات (metadata) الخاصة بالبيانات المتسامة باستخدام مجموعة (collection) من النوع SDO_GEOR_GCP_COLLECTION تضم أزواج النقاط في كائنات من النوع SDO_GEOR_GCP (انظر المثال في 5.3.5 التحويل المتصل و 5.3.8 التحويل كثير الحدود).

يُعرّف الكائن SDO_GEOR_GCP نقطة تحكم المصدر ونقطة تحكم الهدف ويتألف من مجموعة من السمات؛ الأولى معرّف فريد لزوج نقاط التحكم، والثالثة نوع النقطة حيث تدل القيمة 1 على زوج نقاط التحكم التي تُستخدم في التحويل، وتدل القيمة 2 على زوج نقاط التحقق التي تُستخدم في حساب الأخطاء ولا يدخل في التحويل فعلياً:

```
SDO_GEOR_GCP('1', 'First Control Point', 1,
  2, sdo_number_array(25.625000, 73.875000),
  2, sdo_number_array(237036.937500, 897987.187500),
  NULL, NULL)
```

المثال التالي يوضح زوج من نقاط التحقق:

```
SDO_GEOR_GCP('5', '', 2,
  2, sdo_number_array(167.470583, 64.030686),
  2, sdo_number_array(237032.015343, 897916.264708),
  NULL, NULL)
```

يمكن إضافة (أو تعديل نقاط التحكم) في Oracle Spatial كما في المثال التالي الذي يقوم بإضافة نقطة تحكم معرفها 21:

```
DECLARE
g1 sdo_georaster;
GCP SDO_GEOR_GCP;
BEGIN
SELECT georaster INTO g1 from georaster_table WHERE georid=10 FOR UPDATE;
GCP := SDO_GEOR_GCP('21', 'Updated', 1,
  2, sdo_number_array(25.625000, 73.875000),
  2, sdo_number_array(237036.937500, 897987.187500),
  NULL, NULL);
sdo_geor.setControlPoint(g1, GCP);
UPDATE georaster_table SET georaster=g1 WHERE georid=10;
COMMIT;
END;
/
```

المثال التالي يوضح كيفية حذف نقطة التحكم:

```
DECLARE
g1 sdo_georaster;
BEGIN
SELECT georaster INTO g1 from georaster_table WHERE georid=10 FOR UPDATE;
sdo_geor.deleteControlPoint(g1, '21');
UPDATE georaster_table SET georaster=g1 WHERE georid=10;
COMMIT;
END;
/
```

لاسترجاع المعلومات المتعلقة بنقطة التحكم، يمكن استخدام المثال التالي:

```
SELECT sdo_geor.getControlPoint(georaster, '21') FROM georaster_table
WHERE georid =10;
```



```
SDO_GEOR.GETCONTROLPOINT(GEORASTER,'21')(POINTID, DESCRIPTION, POINTTYPE,
CELLDI
```

```
SDO_GEOR_GCP('21', 'Updated', 1, 2, SDO_NUMBER_ARRAY(25.625000, 73.875000), 2,
SDO_NUMBER_ARRAY(237036.937500, 897987.187500), NULL, NULL)
```

5.3.2. أخذ العينات عند تحويل البيانات المتسامتة

يجب أخذ الحيلة عند تحويل البيانات المتسامتة (raster) المصنّفة (classified) التي تتضمن خلايا الشبكة (grid cells) أي البكسلات فيها قيمة ذات معنى مثل تصنيف الغطاء النباتي حيث تدل القيمة في كل خلية على نوع الغطاء النباتي، وربما تتبدل هذه المعلومات أثناء التحويل.

البيانات المتسامتة لها بنية تخزين محددة تكون فيها شبكة الصفوف والأعمدة أفقية وشاقولية دائماً (بغض النظر عن تدويرها مؤقتاً في أحد برامج نظام المعلومات الجغرافية لتوائم بيانات أخرى)، ويكون لكل خلية يتقاطع فيها أحد الصفوف وأحد الأعمدة قيمة معينة.

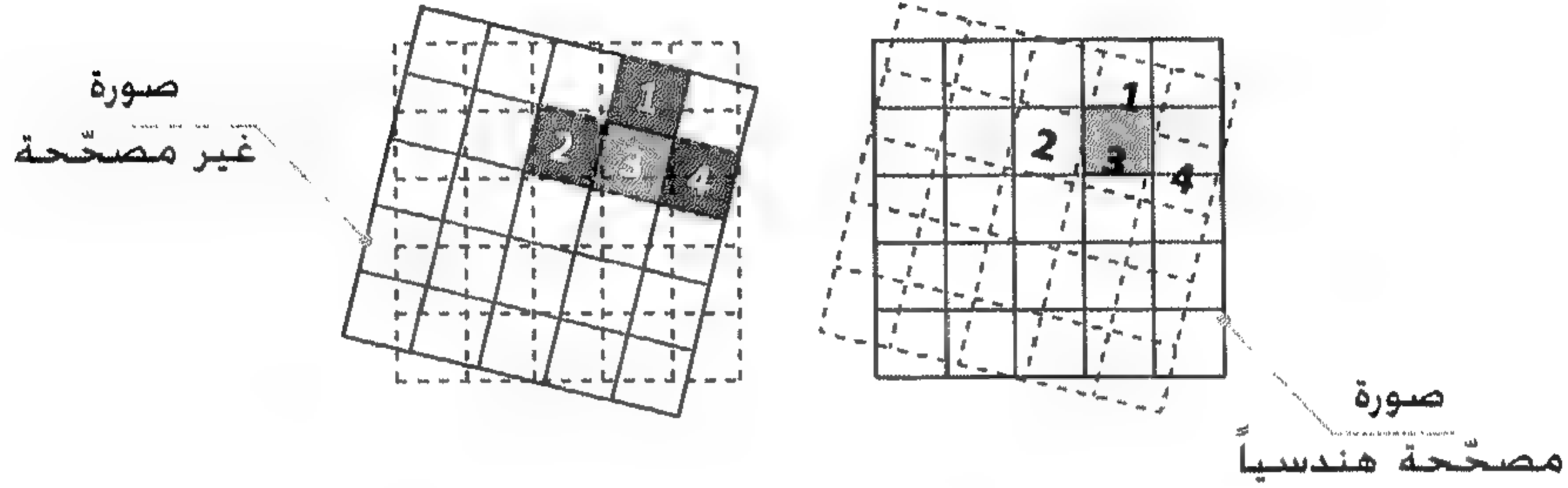
بعد تطبيق التحويل على البيانات المتسامتة، يتغير شكل الشبكة وتنحرف وتنتقل مواقع الخلايا فيها من إحداثيات الصورة (الصف والعمود) إلى إحداثياتها الجديدة. وحتى يمكن تخزين البيانات المتسامتة بعد تصحيحها لا بد من نقل القيم من خلايا الشبكة القديمة إلى خلايا الشبكة الجديدة.

عند التحويل تقوم البرامج بإنشاء الشبكة الجديدة فارغة، ثم تتم مقارنة موقع كل خلية جديدة بمواقع الخلايا القديمة القريبة منها وتُعيّن قيمة لها من أقرب خلية أو من متوسط الخلايا القريبة بأسلوب أخذ العينات (resampling).

ثمة طرق مختلفة لأخذ العينات أكثرها شيوعاً الجار الأقرب (nearest neighbor)، والاستكمال الداخلي ثنائي الخطية (bilinear interpolation)، والطّي التكعيبي أو الالتفاف التكعيبي (cubic convolution). وعند تحويل بيانات متسامتة تغطي مساحة كبيرة ينصح بتنفيذ التحويل على جزء منها واختبار نتائج التحويل لاختيار الطريقة المناسبة لأخذ العينات.

يبين الشكل التالي طريقة الجار الأقرب، تؤخذ عينات القيم من الخلايا الأربع التي تكون مراكزها الأقرب إلى إحدى الخلايا الجديدة ويتم اختيار القيمة لها من أقرب خلية (الخلية رقم 3 في الشبكة القديمة).

في طريقة الاستكمال الداخلي ثنائي الخطية تؤخذ العينات من الخلايا الأربع ذات المركز الأقرب أيضاً، ولكن القيمة الجديدة للخلية هي متوسط موزون (weighted average) لهذه القيم الأربع، أي تُعدّل حسب بعدها عن مركز الخلية ما ينتج منه صورة ذات مظهر أكثر سلاسة من الصور الناتجة باستخدام الجار الأقرب، ولكنه يضر ببيانات التصنيف. وتشبه طريقة الطي التكميلي طريقة الاستكمال الداخلي ثنائي الخطية لكنها تأخذ العينات من أقرب 16 خلية.



الشكل 5-36 أخذ العينات بطريقة الجار الأقرب

وفيما يلي مقارنة بين الطرق الثلاثة:

المساوي	المزايا	طريقة أخذ العينات
<ul style="list-style-type: none"> - ينتج منها صورة خشنة، وتظهر الحواف والخطوط فيها خشنة كذلك. - يمكن أن يتسبب بانزياح موقع الخلية مسافة نصف خلية. - يمكن أن تضيع بعض الخلايا أو يتم تكرارها 	<ul style="list-style-type: none"> - لا تتطلب الكثير من موارد نظام ولا تستغرق وقتاً طويلاً. - تستخدم ذات القيم المستخدمة في البيانات الأصلية (القيمة 2 لا تصبح 2.2 أو 3.1) ويفيد ذلك كثيراً في الحفاظ على بيانات التصنيف. 	<p>الجار الأقرب nearest neighbor</p>
<ul style="list-style-type: none"> - مساوي متوسطة بين الجار الأقرب والالتفاف المكعب 	<ul style="list-style-type: none"> - مزايا متوسطة بين الجار الأقرب والالتفاف المكعب. - مناسب للبيانات التي تمثل سطوح مستمرة وتتطلب حساب متوسطات موزونة مبنية على بعد القيمة عن مركز الخلية، مثل بيانات الارتفاع، والانحدار (slope)، درجة التلوّث، الخ. 	<p>الاستكمال الداخلي ثنائي الخطية bilinear interpolation</p>

- الطي (أو الالتفاف) التكميبي cubic convolution
- ينتج منها صورة ذات حواف ناعمة - تتطلب موارد نظام ووقتاً أطول
 - لا تتسبب بانزياح مواقع الخلايا بعيداً - ينتج من التحويل قيم خلايا عن موقعها الأصلي
 - مناسبة لخرائط الأساس وتستخدم التصنيف.
 - جديدة، ويؤثر ذلك كثيراً في معلومات
 - كثيراً في معالجة الصور الجوية وصور الأقمار الاصطناعية

الجدول 5-10 مزايا طرق إعادة بناء الصورة

AutoCAD®
Map 3D

يضيف الملحق Raster Design في AutoCAD Map 3D طرقاً أخرى لأخذ العينات منها Lanczos (تلفظ لانتسوش) التي تأخذ العينات من أقرب 36 خلية.

ORACLE®
SPATIAL

يضيف Oracle Spatial طريقتين أخريين لأخذ العينات هما AVERAGE4 و AVERAGE16، وهي المتوسط البسيط (simple average) لقيم الخلايا الأربع أو الـ 16 التي تكون مراكزها أقرب إلى الخلية الجديدة.

5.3.3. ملف العالم (World File)

من الضروري توفير آلية لمحاذاة البيانات المتسامية (الصور الجوية وصور الأقمار الاصطناعية الخ) مع البيانات المكانية الأخرى بصورة تلقائية عند تحميلها، توفيراً للوقت وتفادياً لأية أخطاء قد يقع فيها المستخدم. وتبرز هذه الأهمية عندما نتذكر أن الصور الجوية وصور الأقمار الاصطناعية التي تغطي منطقة كبيرة تتم تجزئتها (tiling) في معظم الأحيان إلى عشرات القطع المربعة (tiles) الصغيرة وذلك لأسباب تتعلق بسرعة الأداء وتوفير إمكانية تحميل الصور ذات الصلة بمنطقة الدراسة فقط.

تخزن بعض هيئات (formats) الصور معلومات الإسناد الجغرافي في ترويسة الملف، وعندما يتم تحميلها في برامج نظام المعلومات الجغرافية يمكن مواءمتها تلقائياً بإدراجها في الموقع وبالحجم وزاوية الدوران الصحيحة. ومن البيانات التي تدعم هذه الميزة ملفات ERDAS وIMAGINE وBSQ وGeoTiff وBIP وGRID وGeoSPOT.

بالنسبة لبقية هيئات الصور التي لا تدعم تخزين معلومات الإسناد الجغرافي في ترويسة الملف فإنه يتم الاستعانة بملف مرافق (sidecar file) لتخزين هذه المعلومات. يحمل الملف المرافق اسم الملف ذاته ولكنه يأتي في امتداد (extension) مختلف. ويُعدّ أسلوب الملف المرافق أسلوباً عاماً لتخطي القيود التي تفرضها بعض هيئات الملفات ويتكرر في كثير من تطبيقات تقنية المعلومات. يسمى الملف المرافق في حالتنا هذه ملف العالم (world file). يبين الجدول التالي هيئات (formats) البيانات المتسامية وملف العالم لكل هيئة منها:

ملف البيانات المتسامية	ملف العالم	ملف البيانات المتسامية	ملف العالم
image.tif or image.tfw	image.tifw	image.tif or image.tfw	image.tifw
image.jpg or image.jpgw	image.jpgw	image.jpg or image.jpgw	image.jpgw
image.bmp or image.bmpw	image.bmpw	image.bmp or image.bmpw	image.bmpw
image.gif or image.gifw	image.gifw	image.gif or image.gifw	image.gifw

الجدول 5-11 هيئات ملف العالم

يتألف ملف العالم من ستة وسطاء تبين ارتباط البيانات المتسامية بالإحداثيات على الخريطة في صورة تحويل متصل (affine transformation) (انظر 5.3.5 التحويل المتصل) كما يلي:

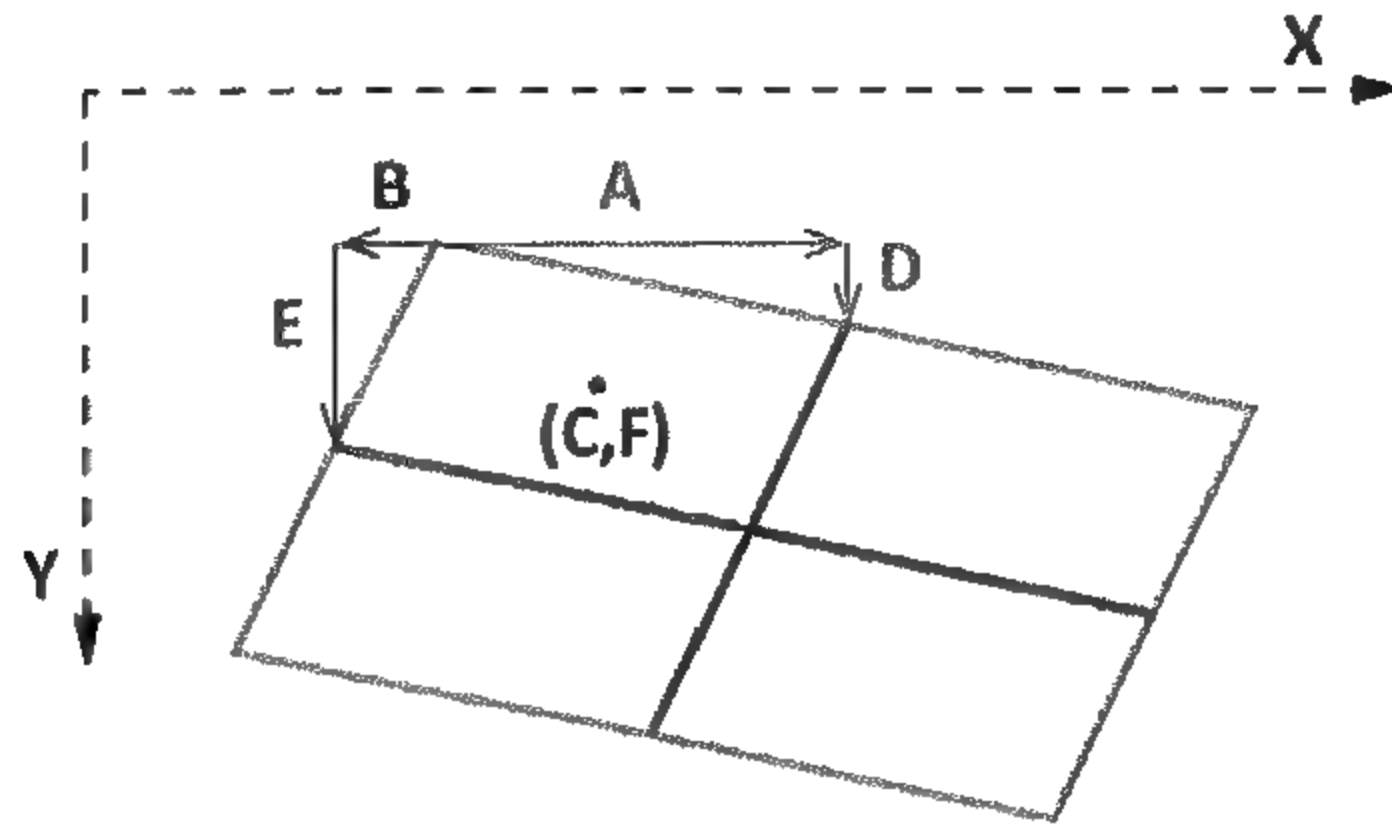
A
D
B
E
C
F

حيث A: حجم البكسل من الصورة مقيساً على محور X في الخريطة بوحدة قياس محور الإحداثيات

D و B: الدوران حول المحور Y والمحور X على الترتيب. غالباً ما تكون الصورة في المنظر القائم وتكون قيمة كل من هذين الوسيطين صفراً.

E: حجم البكسل من الصورة مقيساً على محور Y في الخريطة بوحدة قياس محور الإحداثيات. تكون قيمة E سالبة دائماً لأن اتجاه محور Y في نظام إحداثيات الصورة يقع إلى الأسفل، وإذا

كانت قيمتا A و E متساويتان يكون حجم بكسلات الصورة مربعاً.
C و F: إحداثي X و Y على الترتيب لمركز البكسل الأول في الزاوية اليسرى العليا للصورة



الشكل 5-37 وسطاء ملف العالم

لا يتضمن ملف العالم أية معلومات عن نظام الإحداثيات المرجعي الذي تم مواءمة البيانات المتسامة فيه، ولذلك يحتاج المستخدم في معظم الأحيان إلى تحميل الصورة في ملف خريطة يستخدم ذات النظام المرجعي لملف العالم.

مشروع:

اكتب ملف العالم لبيانات في منطقة حثا في إمارة دبي (الملف hatta.jpg) إذا كانت إحداثيات مركز البكسل في الزاوية اليسرى العليا للصورة في نظام WGS 84 / Dubai Local TM:

$$X = 573000.500, \quad Y = 2751999.500$$

مع العلم أن حجم البكسل في كلا الاتجاهين 1 متر، ولا يوجد دوران للصورة مع محاور الإحداثيات.

الحل:

يمكن كتابة ملف العالم في الملف النصي hatta.jgw:

```
1.000
0.000
0.000
-1.000
573000.500
2751999.500
```

..... ArcGIS

يمكن تصدير ملف العالم لصورة تم إسنادها جغرافياً في ArcGIS بالنقر فوق الزر Update Georeferencing في شريط أدوات Georeferencing أو باستخدام الأداة Export Raster World File في ArcToolbox:

Data Management Tools > Projections and Transformations > Raster > Raster Properties > Export Raster World File

إذا كانت وسطاء التحويل لا يمكن التعبير عنها في ملف العالم يقوم ArcGIS بحفظ هذه المعلومات في ملف في هيئة aux.xml، ويقوم بكتابة معلومات تقريبية عن التحويل في ملف العالم ولكنه يضيف اللاحقة x إلى امتداد الملف، مثل tfwx بدلاً من tfw للدلالة على أنه تحويل تقريبي.

..... AutoCAD® Map 3D

لا يدعم AutoCAD Map 3D تدوير الصورة في زاويتين مختلفتين مع محور الإحداثيات X و Y. إذا كان ملف العالم يتضمن هكذا وسيطين، يتجاهل البرنامج الزاوية الثانية ويقوم بتدوير الصورة حول محوري X و Y بذات الزاوية. لا يتسبب ذلك بأي مشكلة في معظم الأحيان، إذ غالباً ما تكون الصورة في المنظر القائم وتكون قيمة كل من هذين الوسيطين صفراً.

يمكن استخدام الأمر World File في ملحق Raster Design في AutoCAD Map 3D لحفظ ملف العالم لصورة قام المستخدم بمواءمتها ويرغب في حفظ هذه الإعدادات لاستخدامها عندما يقوم بتحميل الصورة مرة أخرى:

Ribbon > Raster Tools > Insert & Write > World File
Command: IWORLDOUT

..... ORACLE® SPATIAL

يمكن في Oracle Spatial استخدام البرنامج الفرعي ImportFrom في حزمة SDO_GEOR لاستيراد ملف العالم أثناء استيراد الصورة أيضاً. كما يمكن استخدام البرنامج الفرعي GEOREFERENCE لإسناد الصور غير المسندة جغرافياً وفي هذه الحالة يتم استخدام ذات القيم المتوفرة في ملف العالم (انظر تعليمات الاستخدام في 5.3.5 التحويل المتصل).



عند تحويل البيانات المتسامة في FME من هيئة إلى أخرى يقوم البرنامج بتوليد ملف العالم في هيئة ملفات WLD التي يتطابق محتواها محتوى ملفات العالم.

5.3.4. تحويل التشابه

يربط تحويل التشابه (similarity transformation) بين نظامين للإحداثيات الديكارتية ثنائية الأبعاد من خلال تدوير (rotation) كامل جملة الإحداثيات بزاوية دوران وحيدة θ ، وتغيير حجمها (scale change) في كلا الاتجاهين X و Y بعامل مقياس وحيد M ، وإزاحة (translation) جملة الإحداثيات بالوسيطين X_{TO} و Y_{TO} .

يحافظ تحويل التشابه - إذاً - على أشكال المعالم والزوايا وشكل واستقامة الخطوط وتوازيها في الخريطة، فالمرجع مثلاً يبقى مربعاً ولا يتحول إلى مستطيل أو متوازي أضلاع. ولذلك يسمى تحويل التشابه أيضاً التحويل المُطابق (conformal transformation)، كما يسمى تحويل Helmert ثنائي الأبعاد نظراً لأنه تطبيق ثنائي الأبعاد لطريقة Helmert (انظر 5.2.1.2 طريقة Helmert).

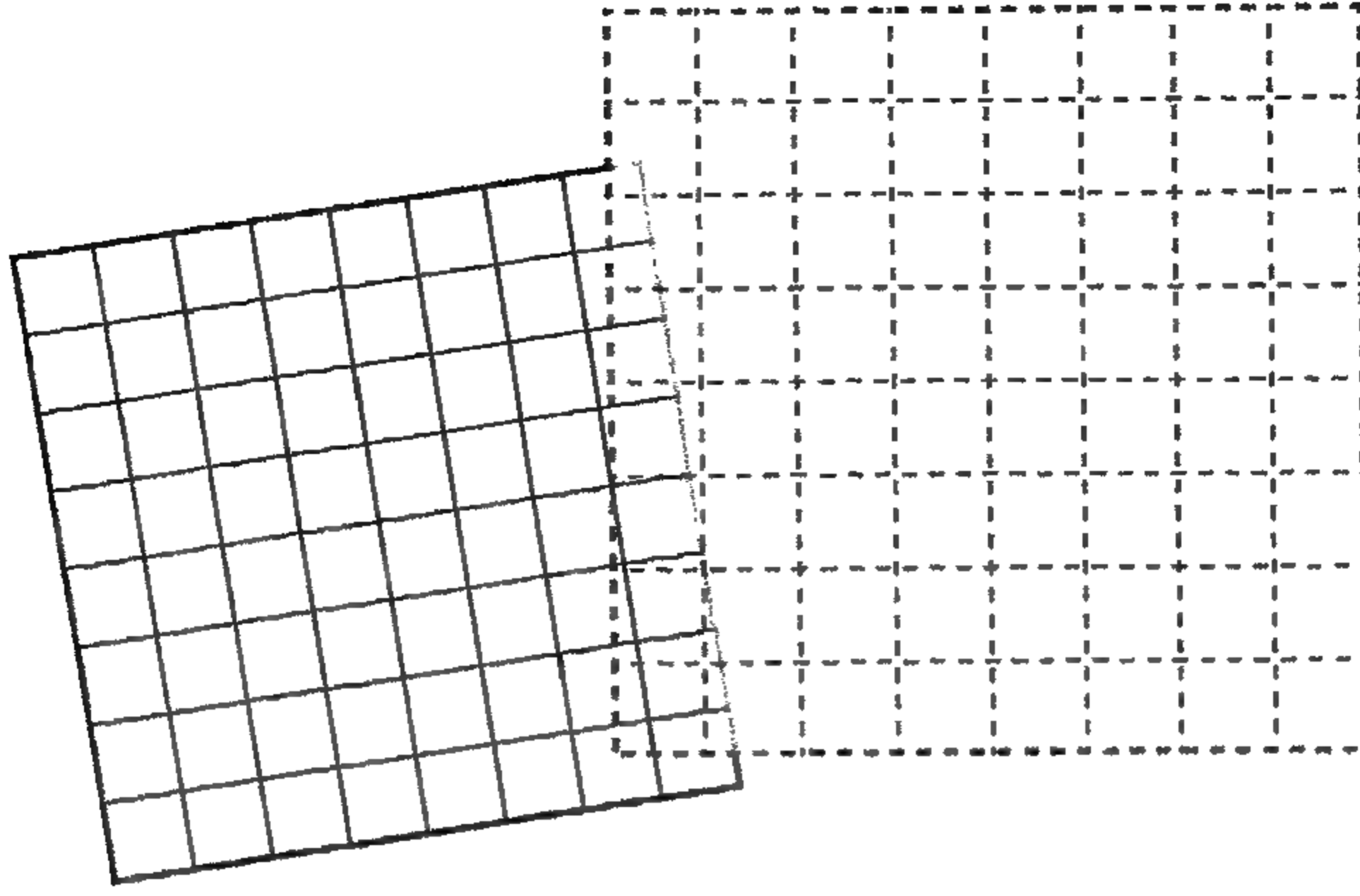
يمكن تنفيذ تحويل التشابه من خلال تعريف زوجين من أزواج نقاط التحكم فقط، ولكن حساب الخطأ متوسط التربيع (RMSE) يتطلب تعريف زوج ثالث من أزواج نقاط التحكم على الأقل. يرمز إلى تحويل التشابه في قاعدة بيانات EPSG بالعمليه 9621 على الإحداثيات.

يمكن تحويل الإحداثيات (X_S, Y_S) من النظام المرجعي المصدر إلى الإحداثيات (X_T, Y_T) في النظام الهدف باستخدام معادلة تحويل التشابه كما يلي:

$$\begin{aligned} X_T &= X_{TO} + X_S M \cos \theta + Y_S M \sin \theta \\ Y_T &= Y_{TO} - X_S M \sin \theta + Y_S M \cos \theta \end{aligned}$$

أي:

$$\begin{pmatrix} X_T \\ Y_T \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_{TO} \\ Y_{TO} \end{pmatrix} + M \begin{pmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_S \\ Y_S \end{pmatrix}$$



الشكل 5-38 تحويل التشابه

حيث:

X_T و Y_T : الإحداثيات مقيسةً على نظام الإحداثيات الهدف.

X_{TO} و Y_{TO} : إحداثيات نقطة مبدأ نظام الإحداثيات المصدر مقيسةً على نظام الإحداثيات الهدف.

X_S و Y_S : الإحداثيات مقيسةً على نظام الإحداثيات المصدر.

M : طول وحدة واحدة من نظام الإحداثيات المصدر مقيسة بوحدات نظام الإحداثيات الهدف.

θ : الزاوية التي تحتاج محاور نظام الإحداثيات المصدر إلى الدوران حولها لتنطبق مع محاور نظام الإحداثيات الهدف، وهي موجبة بعكس اتجاه عقارب الساعة.

يمكن تبسيط هذه المعادلة على النحو التالي:

$$X_T = X_{TO} + A X_S + B Y_S$$

$$Y_T = Y_{TO} + B X_S + A Y_S$$

حيث:

$$A = M \cos \theta$$

$$B = -M \sin \theta$$

وبالتالي يمكننا القول أن تحويل التشابه يتطلب أربعة وسطاء (أو معاملات) هي A, B, X_{TO}, Y_{TO} .

مشروع:

يراد تحويل نقطة في إسبانيا إحداثياتها في النظام المرجعي للإحداثيات المسقطة ED50 / UTM zone 31N الذي يرمز إليه في قاعدة بيانات EPSG بالرمز 23031:

$$E = 300000 \text{ m}$$

$$N = 4500000 \text{ m}$$

التحويل المطلوب إلى النظام المرجعي للإحداثيات المسقطة ETRS89 / UTM zone 31N الذي يرمز إليه في قاعدة بيانات EPSG بالرمز 25831، حيث وسطاء التحويل (عملية تحويل الإحداثيات رقم 5166 في قاعدة بيانات EPSG):

$$X_{TO} = -129.549 \text{ metres}$$

$$Y_{TO} = -208.185 \text{ metres}$$

$$M = 1.00000155$$

$$\theta = 1.56504'' = 0.000007588 \text{ rad}$$

الحل:

من المعادلات السابقة:

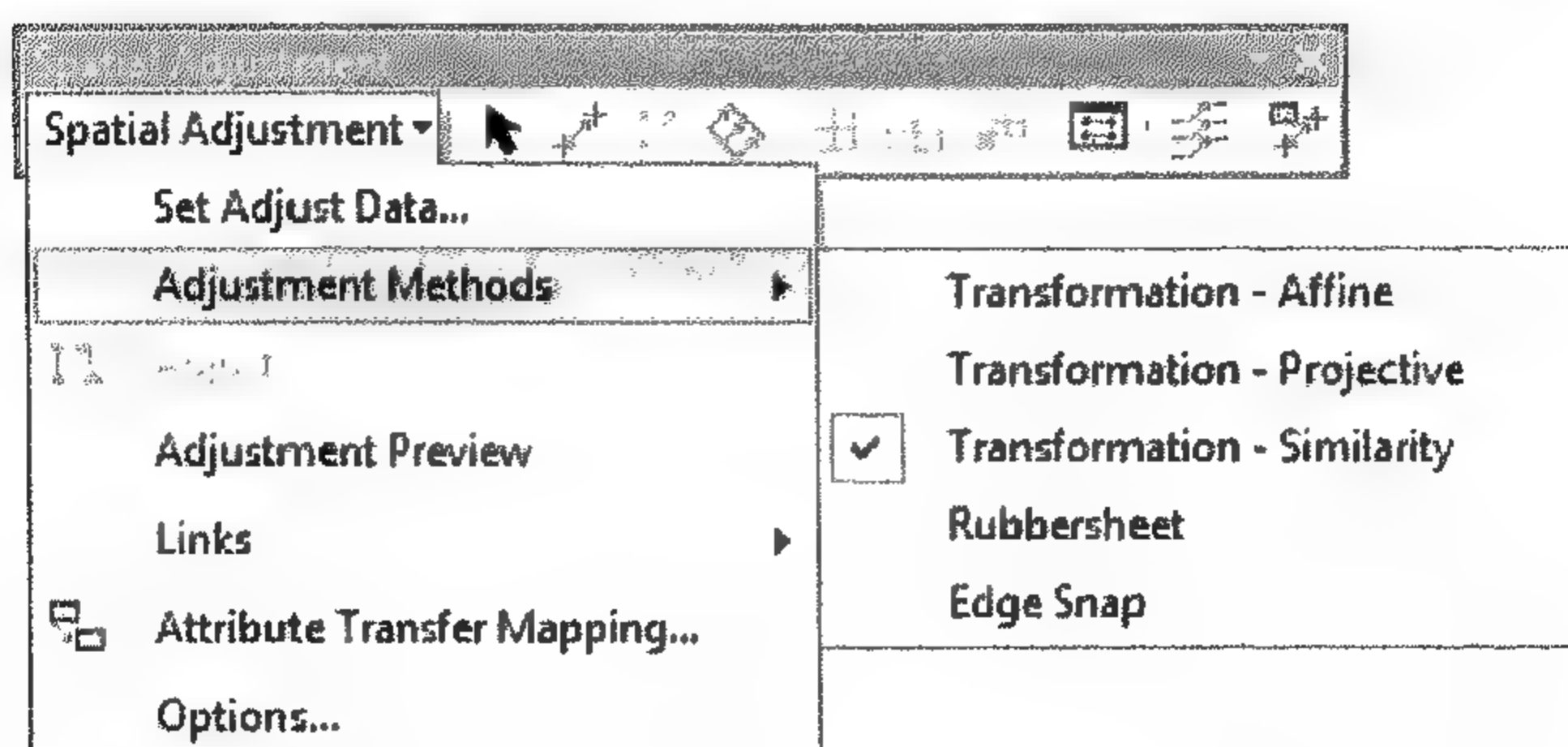
$$E_{ETRS89} = -129.549 + 300000.465 + 34.1439 = 299905.0599 \text{ m}$$

$$N_{ETRS89} = -208.185 - 2.2763 + 4500006.9749 = 4499796.5136 \text{ m}$$



يُنَفَّذ تحويل التشابه في ArcGIS من خلال شريط أدوات الضبط المكاني (Spatial Adjustment) وانتقاء تحويل التشابه من القائمة Adjustment Methods.

يجب أولاً تفعيل تحرير طبقة البيانات المراد تحويلها بالنقر فوقها بزر الفأرة الأيمن في جدول المحتويات وانتقاء Edit Features > Start Editing. بعد تفعيل التحرير يمكن انتقاء الطبقة بالنقر على Set Adjust Data في قائمة شريط أدوات الضبط المكاني وانتقاء الطبقة في صندوق حوار Choose Input For Adjustment.



الشكل 5-39 تحويل التشابه في شريط أدوات الضبط المكاني في ArcGIS

بعد ذلك يمكن انتقاء تحويل التشابه من Adjustment Methods في قائمة شريط الأدوات. تسمى الوصلة بين نقاط التحكم المصدر والهدف في ArcGIS وَصلة الانزياح (displacement link)، وتُعرّف نقاط التحكم هذه من خلال إنشاء العدد المطلوب من وصلات الانزياح باستخدام الزر New Displacement Link في شريط أدوات الضبط المكاني.

يمكن التحقق من معلومات الأخطاء المتبقية والخطأ متوسط التربيع قبل تنفيذ التحويل بالنقر فوق View Link Table في شريط الأدوات. كما يمكن معاينة التحويل قبل تنفيذه من خلال نافذة Adjustment Preview. بعد الانتهاء من تعريف وصلات الانزياح والتأكد من دقة التحويل يمكن تحويل البيانات بالنقر فوق Adjust في قائمة شريط الأدوات.

..... AutoCAD® Map 3D

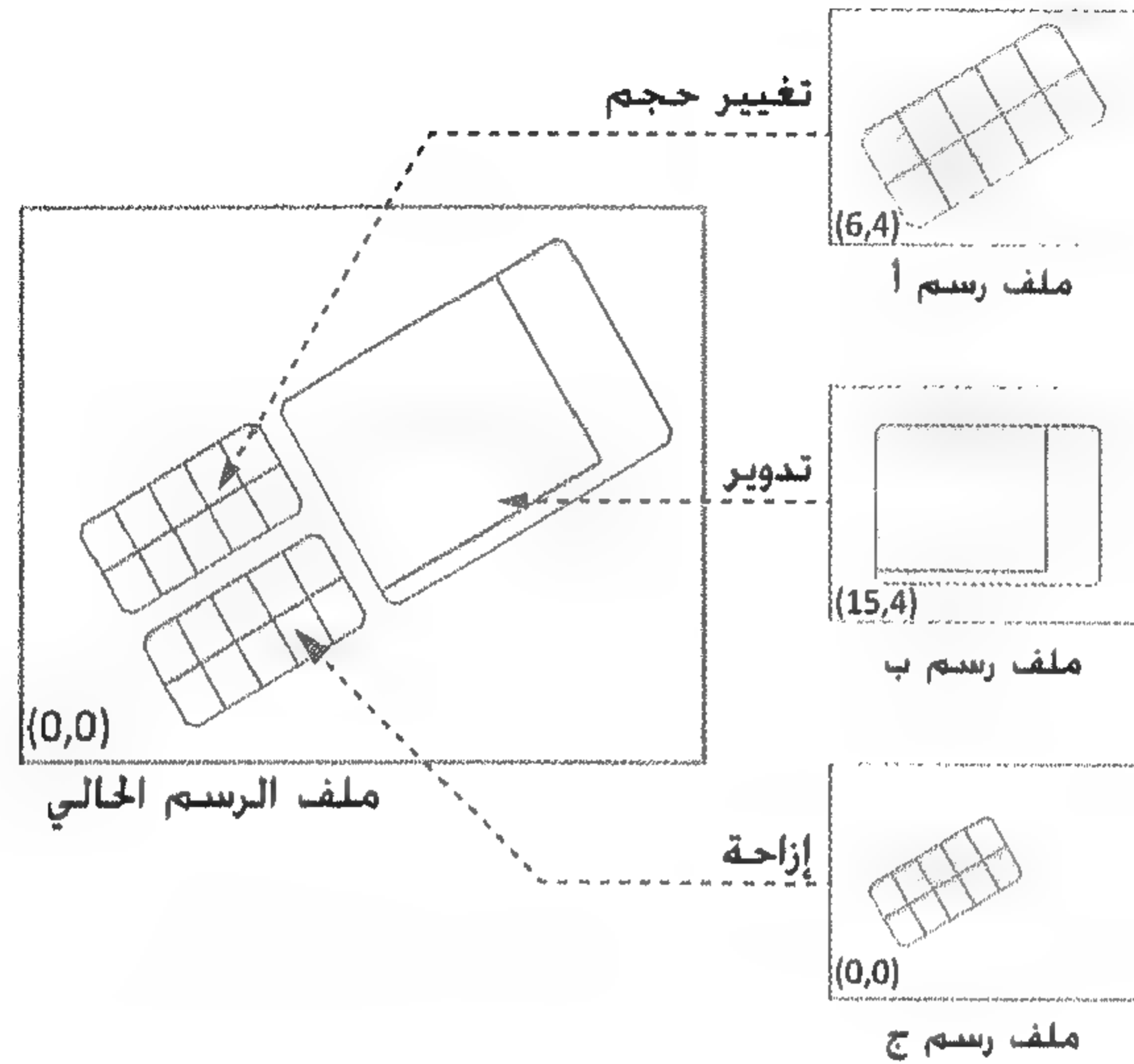
عند إرفاق ملفات رسوم (drawings) من مصادر متعددة في ملف الرسم الحالي في AutoCAD Map 3D يمكن تنفيذ تحويل التشابه من خلال التحويل البسيط (simple transformation) ضمن أمر تعريف/تعديل مجموعة الرسوم (Define/Modify Drawing Set) لتغيير حجم الكائنات التي يتم استرجاعها من الرسوم المرفقة وتدويرها وإزاحتها بحيث تظهر في موقعها الصحيح في الرسم الحالي، ما يساعد في تركيب الرسوم من مصادر مختلفة لإنشاء خريطة واحدة من دون تعديل البيانات الأصلية.

Menu: Setup > Define/Modify Drawing Set

Ribbon: Home > Data > Define Drawing Set

Command: ADEDRAWINGS

يُنقذ التحويل البسيط من خلال صندوق الحوار Define/Modify Drawing Set بعد إرفاق (Attach) ملف الرسم بانتقاء ملف الرسم المرفق ثم النقر فوق زر إعدادات الرسم (Drawing Settings) وتفعيل التحويل البسيط ثم إدخال قيم التحويل في مربعات الإدخال Scale و Rotation و Offset.



الشكل 40-5 التحويل البسيط في AutoCAD Map 3D

يقوم AutoCAD Map 3D بتخزين إعدادات تحويل الرسوم المرفقة في الرسم الحالي، بحيث يتم تطبيق التحويل تلقائياً عند فتحه مرة أخرى، أما الملف الأصلي للرسم المرفق فلا يتغير، وبالتالي فإن التغييرات الناتجة من التحويل البسيط هي تغييرات مؤقتة.

..... **AutoCAD®**
Map 3D

يقوم الأمر Transform في AutoCAD Map 3D بتنفيذ تحويل التشابه بحيث تكون هذه التغييرات دائمة، على العكس من التحويل المؤقت الذي توفره خيارات التحويل البسيط. ويمكن تنفيذ الأمر Transform على الكائنات الموجودة في ملف الرسم الحالي، بما في ذلك إسناد صورة جوية جغرافياً بحيث تطابق كائنات أخرى، أو تحويل الكائنات بحيث تطابق صورة جوية.

Menu: Modify > Transform

Ribbon: Tools > Map Edit > Transform

Command: ADETRANSFORM

يُنفذ الأمر Transform بتحديد الكائنات أو الطبقات المراد تحويلها ثم انتقاء زوجين من أزواج نقاط التحكم يتألف كل زوج من نقطة مصدر (source point) ونقطة وجهة (destination point)، وتُحدّد هذه النقاط باستخدام الفأرة أو بإدخال إحداثياتها في نافذة الأوامر.

..... AutoCAD® Map 3D

يدعم AutoCAD Map 3D تحويل التشابه أثناء تهيئة المرقم لاستخدامه في إنشاء خريطة رقمية من أخرى مطبوعة باستخدام الأمر TABLET (انظر 1.4.6 الترميم).

..... ORACLE® SPATIAL

يمكن في Oracle Spatial استخدام البرنامج الفرعي AFFINETRANSFORMS في حزمة SDO_UTIL لتحويل البيانات باستخدام تحويل التشابه (انظر تعليمات الاستخدام في 5.3.5 التحويل المتصل).

..... ORACLE® SPATIAL

يمكن في Oracle Spatial إسناد البيانات المتسامية جغرافياً باعتماد تحويل التشابه أو التحويل المتصل باستخدام الإجراء GEOREFERENCE في حزمة SDO_GEOR (انظر تعليمات الاستخدام في 5.3.5 التحويل المتصل).

..... FME

يمكن تنفيذ تحويل التشابه في FME باستخدام المحوّل Affiner (انظر المثال في 5.3.5 التحويل المتصل) مع تحقيق ما يلي:

$$A = E, \quad B = -D$$

5.3.5. التحويل المتصل

يربط التحويل المتصل (affine transformation) بين نظامين للإحداثيات الديكارتية ثنائية الأبعاد من خلال تدوير محوري جملة الإحداثيات بزاويتي دوران مختلفتين هما θ_x للمحور X و θ_y

للمحور Y، وذلك لجعل محوري الإحداثيات في النظام المرجعي المصدر ينطبقان مع محوري الإحداثيات في النظام المرجعي الهدف، وتغيير حجمها بعامل قياسي مختلفين هما M_X في اتجاه X والثاني M_Y في اتجاه Y، وإزاحة (translation) مبدأ الإحداثيات بالوسيطين X_{TO} و Y_{TO} .

وبما أن معادلات إسقاط الخريطة تحافظ على المقياس الصحيح في الخطوط القياسية فقط (انظر 4.7 المحافظة على المقياس) نظراً للتشوه الذي تتسبب به هذه المعادلات، فإن وحدة القياس في النظام المرجعي للإحداثيات المسقطة تكون صحيحة في هذه الخطوط القياسية فقط، وفيما عدا ذلك يكون المقياس مشوّهاً. لذلك يستخدم التحويل المتصل عامل مقياس النقطة k من أجل الحصول على دقة أكبر في عملية التحويل.

يؤدي التحويل المتصل - إذاً - إلى انحراف الزوايا القائمة وبالتالي يصبح المستطيل متوازي أضلاع، كما يؤدي إلى مطّ شكل الشبكة والبيانات المكانية بحيث يصبح المربع مستطيلاً وهكذا، ومع ذلك يحافظ التحويل المتصل على استقامة الخطوط وتوازيها.

يمكن تنفيذ التحويل المتصل من خلال تعريف ثلاثة أزواج من نقاط التحكم فقط، ولكن ينصح بتعريف أزواج إضافية من نقاط التحكم لرفع جودة التحويل.

تعرف قاعدة بيانات EPSG نوعين من التحويل المتصل؛ هما الوسيط والهندسي، يختلفان في وسطاء التحويل وبالتالي صيغة معادلة التحويل.

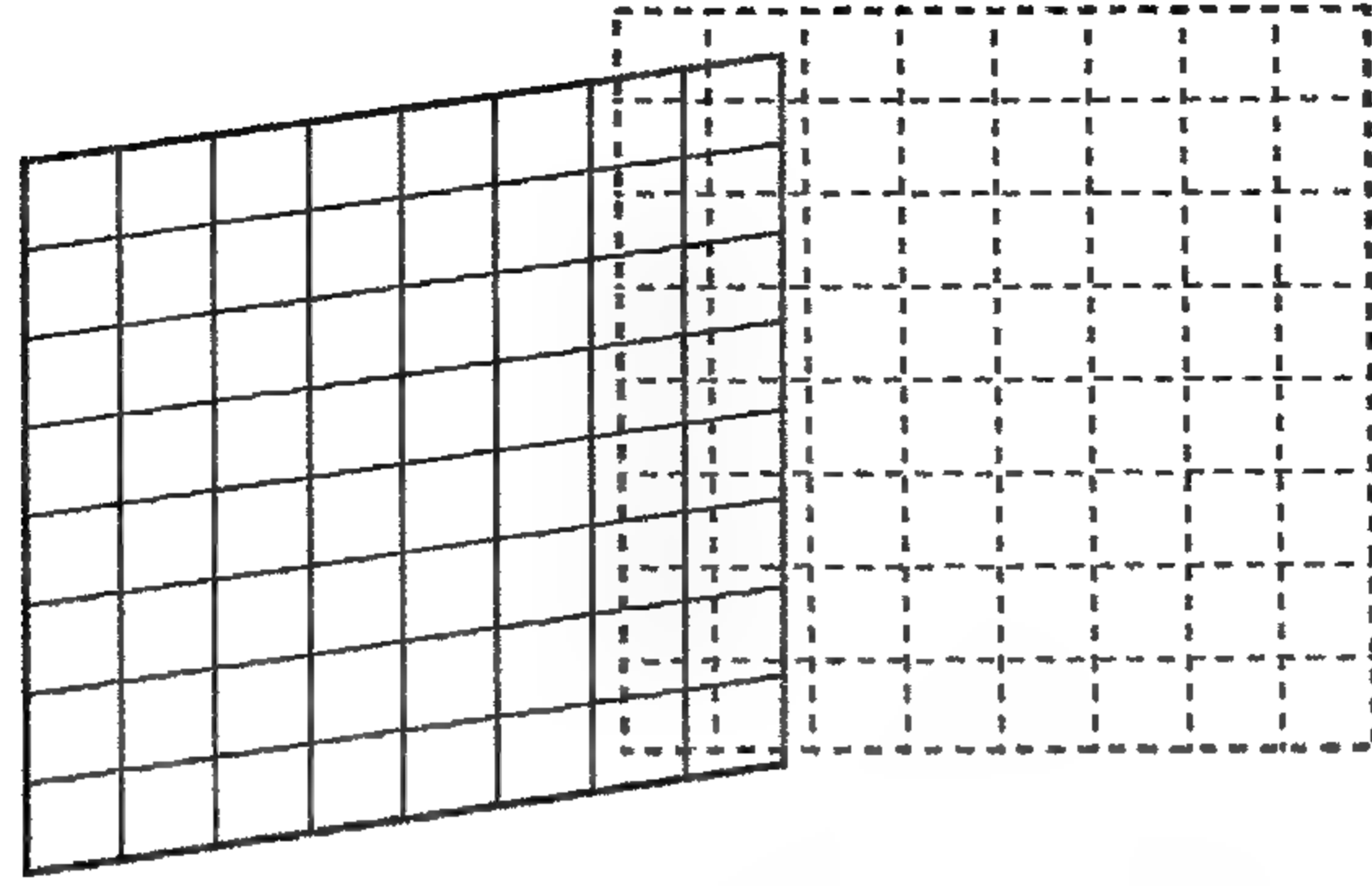
يرمز إلى التحويل المتصل الهندسي (affine geometric transformation) في قاعدة بيانات EPSG بالعملية 9623 على الإحداثيات.

يمكن تحويل الإحداثيات (X_S, Y_S) من النظام المرجعي المصدر إلى الإحداثيات (X_T, Y_T) في النظام الهدف باستخدام معادلة التحويل المتصل الهندسي كما يلي:

$$\begin{aligned} X_T &= X_{TO} + X_S k M_X \cos \theta_X + Y_S k M_Y \sin \theta_Y \\ Y_T &= Y_{TO} - X_S k M_X \sin \theta_X + Y_S k M_Y \cos \theta_Y \end{aligned}$$

أو:

$$\begin{pmatrix} X_T \\ Y_T \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_{TO} \\ Y_{TO} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \cos \theta_X & \sin \theta_Y \\ -\sin \theta_X & \cos \theta_Y \end{pmatrix} k \begin{pmatrix} M_X & 0 \\ 0 & M_Y \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_S \\ Y_S \end{pmatrix}$$



الشكل 5-41 التحويل المتصل

حيث:

X_T و Y_T : الإحداثيات مقيسةً على نظام الإحداثيات الهدف.

X_S و Y_S : الإحداثيات مقيسةً على نظام الإحداثيات المصدر.

X_{TO} و Y_{TO} : إحداثيات نقطة مبدأ نظام الإحداثيات المصدر مقيسةً على نظام الإحداثيات الهدف.

k : عامل مقياس النقطة لنظام الإحداثيات الهدف في نقطة مرجعية يتم انتقاؤها.

M_X و M_Y : طول وحدة واحدة من محور نظام الإحداثيات المصدر مقيسةً بوحدات محور نظام الإحداثيات الهدف، على المحور X و Y على الترتيب.

θ_X و θ_Y : الزاويتان اللتان يحتاج محورا X و Y في نظام الإحداثيات المصدر إلى الدوران حولهما لينطبقا مع محوري X و Y في نظام الإحداثيات الهدف، وهي موجبة بعكس اتجاه عقارب الساعة.

من ناحية أخرى يمكن كتابة معادلة التحويل المتصل بصيغة التحويل كثير الحدود من الدرجة الأولى (انظر 5.3.8 التحويل كثير الحدود)، كما يلي:

$$X_T = A_0 + A_1X + A_2Y$$

$$Y_T = B_0 + B_1X + B_2Y$$

يسمى التحويل المتصل المعرف بالمعادلة أعلاه التحويل المتصل الوسيطى (affine parametric transformation)، ويرمز إليه في قاعدة بيانات ESPG بالعملية 9624. ويمكن إيضاح العلاقة بين التحويل المتصل الوسيطى بالتحويل المتصل الهندسي كما يلي:

$$\begin{aligned}
 A_0 &= X_{TO} \\
 A_1 &= k M_X \cos \theta_X \\
 A_2 &= k M_Y \sin \theta_Y \\
 B_0 &= Y_{TO} \\
 B_1 &= -k M_X \sin \theta_X \\
 B_2 &= k M_Y \cos \theta_Y
 \end{aligned}$$

وبالتالي يمكننا القول أن التحويل المتصل يتطلب ستة وسطاء (أو معاملات) هي $A_0, A_1, A_2, B_0, B_1, B_2$.

ونلاحظ هنا أن تحويل التشابه هو حالة خاصة من التحويل المتصل الوسيط، فيها:

$$\begin{aligned}
 A_1 &= B_2 \\
 A_2 &= -B_1
 \end{aligned}$$

..... ArcGIS'

يُنفَّذ التحويل المتصل في ArcGIS من خلال شريط أدوات الضبط المكاني (Spatial Adjustment) وانتقاء Transformation - Affine من القائمة Adjustment Methods. وتُعرَّف وصلات الانزياح وتنفيذ التحويل بذات الخطوات المذكورة في تحويل التشابه.

..... ArcGIS'

يدعم ArcGIS التحويل المتصل للبيانات المتسامطة (raster data) أيضاً، ويمكن تنفيذ ذلك من خلال شريط أدوات Georeferencing (انظر 5.3.8 التحويل كثير الحدود).

..... AutoCAD[®] Map 3D

يدعم AutoCAD Map 3D التحويل المتصل أثناء تهيئة المرقم لاستخدامه في إنشاء خريطة رقمية من أخرى مطبوعة باستخدام الأمر TABLET (انظر 1.4.6 التقييم).



يمكن في Oracle Spatial استخدام البرنامج الفرعي AFFINETRANSFORMS في حزمة SDO_UTIL لتحويل البيانات المتجهة تحويلاً متصلاً ثلاثي الأبعاد. يمكن لهذا التحويل إزاحة البيانات وتغيير حجمها وتدويرها وجعلها تنحرف (shearing) وتنعكس (reflection). ويمكنك العودة إلى دليل Oracle Spatial للمزيد من التفاصيل.

المثال التالي يقوم بعكس المضلع ثنائي الأبعاد الذي إحداثيات عقده (1.5,0,2.5,1,1.5,2,0.5,2,0.5,0,1.5,0) خلال المستوي YZ (dirR => 0) حول الخط الذي إحداثيات طرفيه (2.5,0.0,2.5,2.0):

```
SELECT SDO_UTIL.AFFINETRANSFORMS(
  geometry => MDSYS.SDO_GEOMETRY(2003, NULL, NULL,
    MDSYS.SDO_ELEM_INFO_ARRAY(1,1003,1),
    MDSYS.SDO_ORDINATE_ARRAY(
      1.5,0,
      2.5,1,
      1.5,2,
      0.5,2,
      0.5,0,
      1.5,0)),
  translation => 'FALSE',
  tx => 0.0,
  ty => 0.0,
  tz => 0.0,
  scaling => 'FALSE',
  psc1 => NULL,
  sx => 0.0,
  sy => 0.0,
  sz => 0.0,
  rotation => 'FALSE',
  p1 => NULL,
  line1 => NULL,
  angle => 0.0,
  dir => 0,
  shearing => 'FALSE',
  shxy => 0.0,
  shyx => 0.0,
  shxz => 0.0,
```



```

shzx => 0.0,
shyz => 0.0,
shzy => 0.0,
reflection => 'TRUE',
pref => NULL,
lineR => MDSYS.SDO_GEOMETRY(2002,0,NULL,
  MDSYS.SDO_ELEM_INFO_ARRAY(1,2,1),
  MDSYS.SDO_ORDINATE_ARRAY(2.5,0.0,2.5,2.0)),
dirR => 0,
planeR => 'FALSE',
n => NULL,
bigD => NULL
) FROM DUAL;

```



يمكن في Oracle Spatial تنفيذ الإسناد الجغرافي للبيانات المتسامة (raster data) مثل الصور الجوية وصور الأقمار الاصطناعية باعتماد التحويل المتصل باستخدام البرنامج الفرعي GEOREFERENCE في حزمة SDO_GEOR. ويمكن تنفيذ ذلك بطريقتين؛ الأولى باستخدام وسطاء التحويل المتصل، والثانية بالاعتماد على مجموعة من نقاط التحكم.

مشروع:

مطلوب إسناد بيانات متسامة جغرافياً في Oracle Spatial باستخدام وسطاء التحويل المتصل لمنطقة حثّا في إمارة دبي في الجدول DUBAI_RASTER إذا كان معرّف هذه البيانات المتسامة في الجدول المذكور هو 891 وأن إحداثيات مركز البكسل في الزاوية اليسرى العليا للصورة في نظام WGS 84 / Dubai Local TM:

$$X = 573000.500$$

$$Y = 2751999.500$$

مع العلم أن حجم البكسل في كلا الاتجاهين 1 متر، ولا يوجد دوران للصورة مع محاور الإحداثيات.

الحل:

نعلم أن معرّف النظام المرجعي WGS 84 / Dubai Local TM في قاعدة بيانات EPSG هو

3997، وإذا لم يكن في الجدول MDSYS.CS_SRS نقوم بإنشائه (انظر 4.11.2 إنشاء نظام مرجعي جديد للإحداثيات المسقط). إذاً يمكن إسناد هذه البيانات جغرافياً كما يلي:

```

DECLARE
  g SDO_GEORASTER;
BEGIN
  SELECT georaster INTO g FROM DUBAI_RASTER WHERE id = 891 FOR UPDATE;
  SDO_GEOR.GEOREFERENCE (
    georaster => g,
    srid => 3997,
    modelcoordinatelocation => 0, -- 0 for center of the cell
    xCoefficients => sdo_number_array (1, 0, 573000.500),
    yCoefficients => sdo_number_array (0, -1, 2751999.500)
  );
  UPDATE DUBAI_RASTER SET georaster = g WHERE id = 891;
  COMMIT;
END;
/

```

PL/SQL procedure successfully completed.

مشروع:



مطلوب إسناد بيانات متسامتة جغرافياً في Oracle Spatial باستخدام مجموعة من نقاط التحكم (مبينة لاحقاً في الحل) لمنطقة في Massachusetts في الولايات المتحدة الأمريكية في الجدول MASSACHUSETTS_RASTER إذا كان معرف هذه البيانات المتسامتة في الجدول المذكور هو 10 وأن البيانات في نظام NAD83 / Massachusetts Mainland:

الحل:

نعلم أن معرف النظام المرجعي للإحداثيات المسقط NAD83 / Massachusetts Mainland هو 26986:

```

DECLARE
  g1 SDO_GEORASTER;
  georefModel SDO_GEOR_GCPGEOREFTYPE;
  GCPs SDO_GEOR_GCP_COLLECTION;
  rms sdo_number_array;
BEGIN
  SELECT georaster INTO g1 from MASSACHUSETTS_RASTER WHERE id=10 FOR UPDATE;
  GCPs := SDO_GEOR_GCP_COLLECTION(
    SDO_GEOR_GCP('1', '', 1,
      2, sdo_number_array(25.625000, 73.875000),
      2, sdo_number_array(237036.937500, 897987.187500),
      NULL, NULL),
    SDO_GEOR_GCP('2', '', 1,
      2, sdo_number_array(100.625000, 459.125000),
      2, sdo_number_array(237229.562500, 897949.687500),
      NULL, NULL),
    SDO_GEOR_GCP('3', '', 1,
      2, sdo_number_array(362.375000, 77.875000),
      2, sdo_number_array(237038.937500, 897818.812500),
      NULL, NULL),
    SDO_GEOR_GCP('4', '', 1,
      2, sdo_number_array(478.875000, 402.125000),
      2, sdo_number_array(237201.062500, 897760.562500),
      NULL, NULL),
    SDO_GEOR_GCP('5', '', 2,
      2, sdo_number_array(167.470583, 64.030686),
      2, sdo_number_array(237032.015343, 897916.264708),
      NULL, NULL),
    SDO_GEOR_GCP('6', '', 2,
      2, sdo_number_array(101.456177, 257.915534),
      2, sdo_number_array(237128.957767, 897949.271912),
      NULL, NULL));
  georefModel := SDO_GEOR_GCPGEOREFTYPE('Affine', GCPs.count, GCPs, NULL);
  rms := sdo_geor.georeference(g1, georefModel, 'FALSE', 26986, 1);
  UPDATE MASSACHUSETTS_RASTER SET georaster=g1 WHERE id=10;
  COMMIT;
END;
/

```

إذا كانت البيانات المتسامة بحاجة إلى إسقاط وإسناد جغرافي معاً يمكن في Oracle Spatial استخدام البرنامج الفرعي setSRS في الحزمة SDO_GEOR لتعريف النظام المرجعي لهذه البيانات، حيث يتضمن هذا الإجراء أيضاً تحويلات متصلاً للبيانات معادلته:

$$row = 32631.5614 + 0 \times X + (-0.03508772) \times Y$$

$$col = -7894.7544 + 0.03508772 \times X + 0 \times Y$$

تُحفظ معلومات النظام المرجعي ووسطاء التحويل في كائن من النوع SDO_GEOR_SRS، ويمكن تنفيذ ذلك كما يلي:

```

DECLARE
  g1 sdo_georaster;
  srs sdo_geor_srs;
BEGIN
  SELECT georaster INTO g1 FROM DUBAI_RASTER WHERE id = 891;
  srs:=sdo_geor_srs();
  srs.isReferenced := 'TRUE';
  srs.isRectified := 'TRUE';
  srs.isOrthoRectified := null;
  srs.srid := 3997;
  srs.spatialResolution := sdo_number_array(28.5, 28.5);
  srs.coordLocation := 0.5;
  srs.rowOff := 0;
  srs.columnOff := 0;
  srs.xOff := 0;
  srs.yOff := 0;
  srs.zOff := 0;
  srs.rowScale := 1;
  srs.columnScale := 1;
  srs.xScale := 1;
  srs.yScale := 1;
  srs.zScale := 1;
  srs.rowRMS := 0;
  srs.columnRMS := 0;
  srs.totalRMS := 0;
  srs.rowNumerator := SDO_NUMBER_ARRAY(1, 2, 1, 3, 32631.5614, 0, -.03508772);
  srs.rowDenominator := SDO_NUMBER_ARRAY(1, 0, 0, 1, 1);
  srs.columnNumerator := SDO_NUMBER_ARRAY(1, 2, 1, 3, -7894.7544, .03508772, 0);
  srs.columnDenominator := SDO_NUMBER_ARRAY(1, 0, 0, 1, 1);
  -- Set the SRS metadata to the GeoRaster object.
  sdo_geor.setSRS(g1, srs);
  UPDATE DUBAI_RASTER SET georaster = g1 WHERE id=891;
  COMMIT;
END;
/

```




يمكن تنفيذ التحويل المتصل في FME باستخدام المحوّل Affiner. يتوفر أيضاً المحوّل 3DAffiner الذي يحافظ على توازي المستويات بالإضافة إلى توازي الخطوط.

في التحويل المتصل باستخدام المحوّل Affiner تُدخل ستة وسطاء للتحويل ما يعني أن البرنامج يستخدم صيغة التحويل المتصل الوسيط، لكنه يستخدم معادلة يختلف فيها ترتيب الوسطاء:

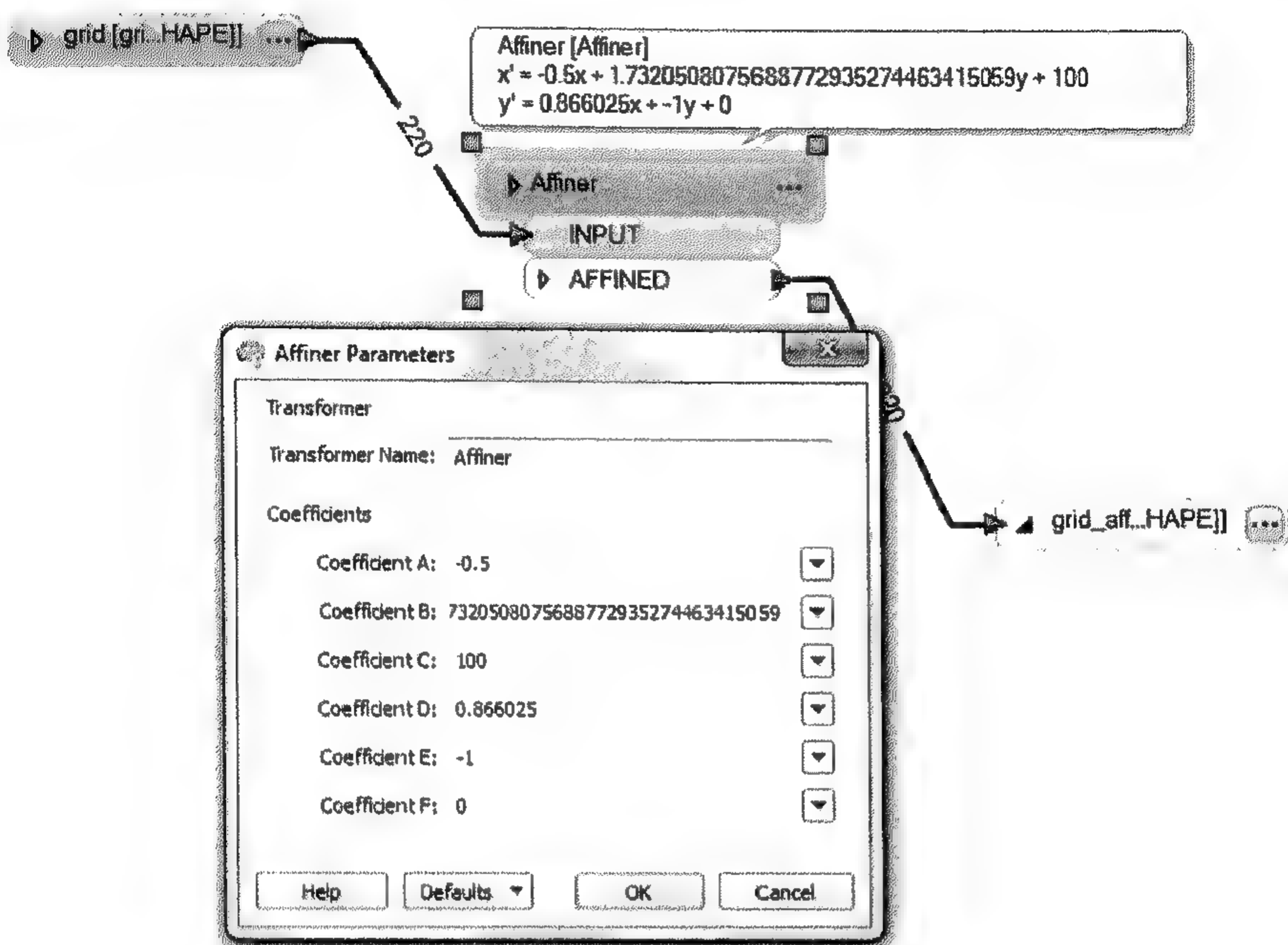
$$\begin{aligned} X' &= Ax + By + C \\ Y' &= Dx + Ey + F \end{aligned}$$

ولمطابقة معادلة التحويل الوسيطى آنفة الذكر يمكن إعادة ترتيب حدودها لتتطابق مع معادلة FME كما يلي:

$$\begin{aligned} X_T &= A_1X + A_2Y + A_0 \\ Y_T &= B_1X + B_2Y + B_0 \end{aligned}$$

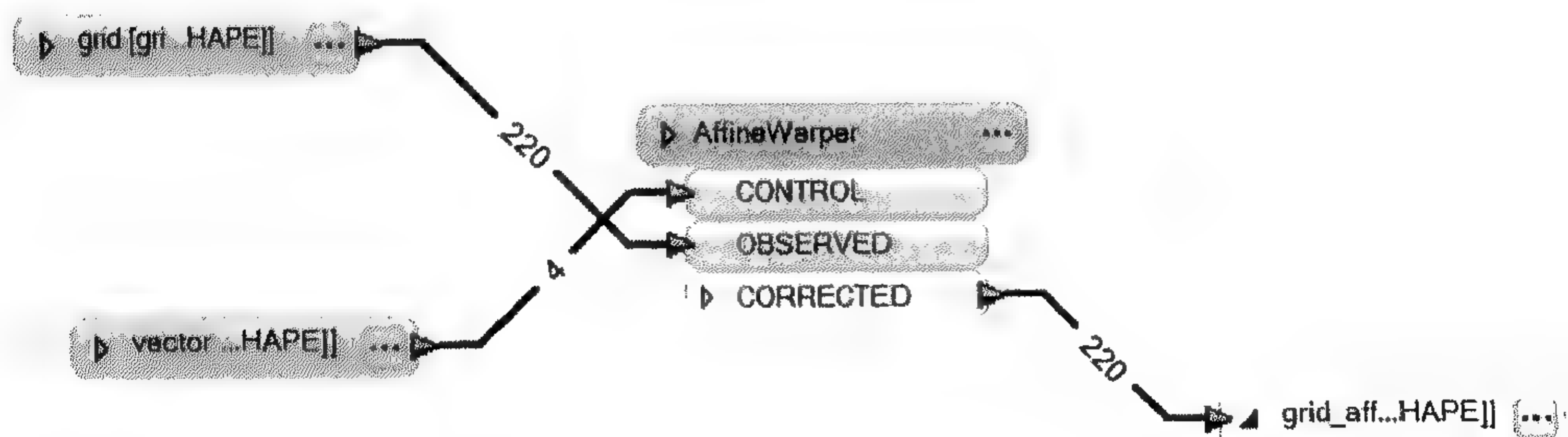
المثال التالي يوضح كيفية تدوير المحورين X و Y بزاويتين مختلفتين؛ 30- و 30 درجة على التوالي، مع إزاحة البيانات 100 متر على محور X فقط، وبدون تغيير حجم البيانات.

لاحظ أنه يمكن إظهار معادلة التحويل في أعلى المحوّل باستخدام الأمر Show Summary :Annotation



الشكل 5-42 التحويل المتصل باستخدام المحوّل Affiner في FME

يمكن تنفيذ التحويل المتصل في FME باستخدام محوّل آخر هو AffineWarper، وبدلاً من وسطاء التحويل يتطلب هذا المحوّل بيانات إضافية تسمى متجهات تحكم (control vectors) تقابل وصلات الانزياح في ArcGIS. متجهات التحكم هي خطوط تمثل نقاط البداية فيها نقاط تحكم المصدر وتمثل نقاط النهاية فيها نقاط تحكم الهدف. المثال التالي يبين تحويل البيانات في المثال السابق باستخدام أربعة متجهات تحكم مخزنة في الملف vectors.shp:

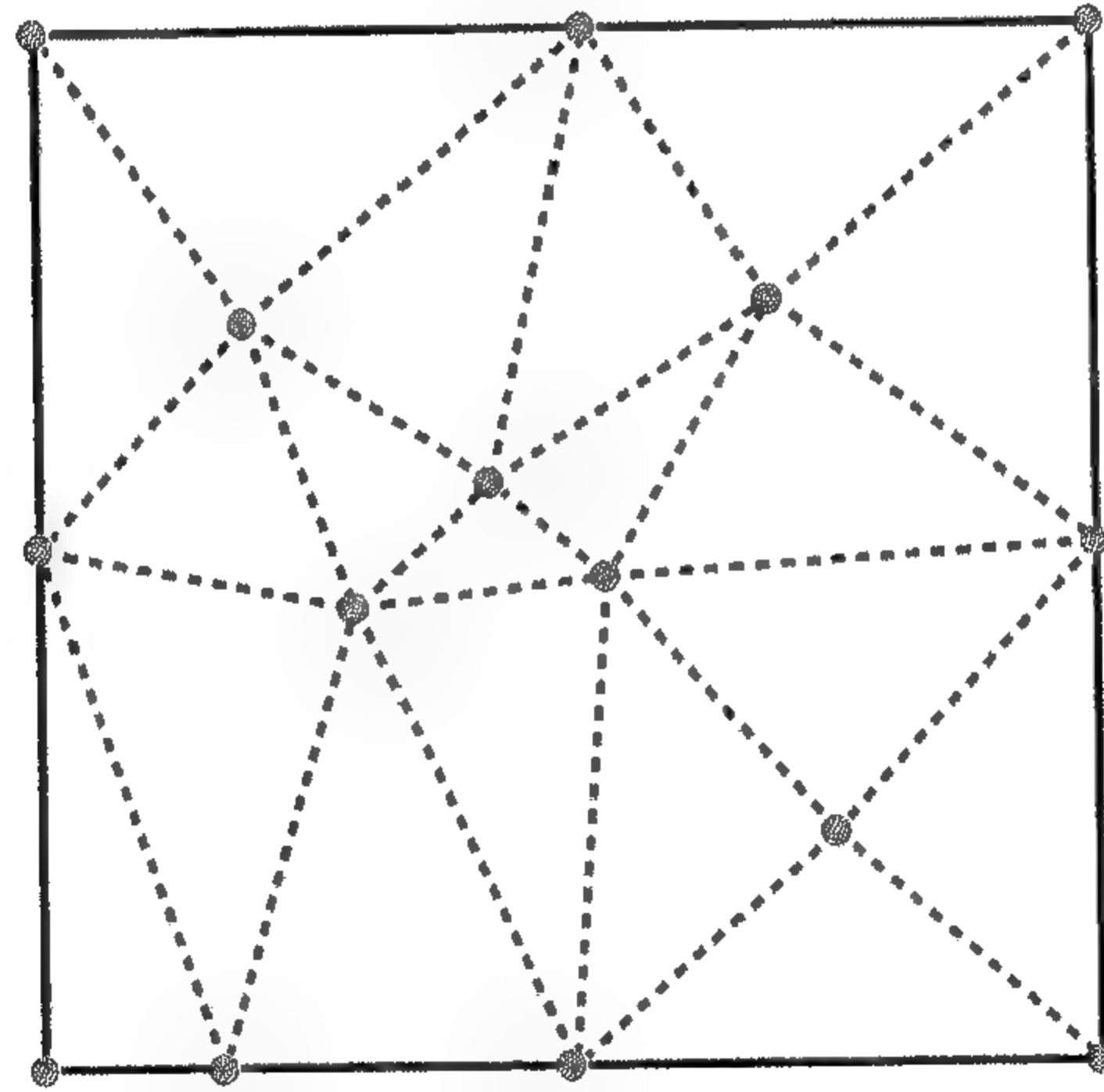


الشكل 5-43 التحويل المتصل باستخدام المحوّل AffineWarper في FME

5.3.6. التصفيح المطاطي

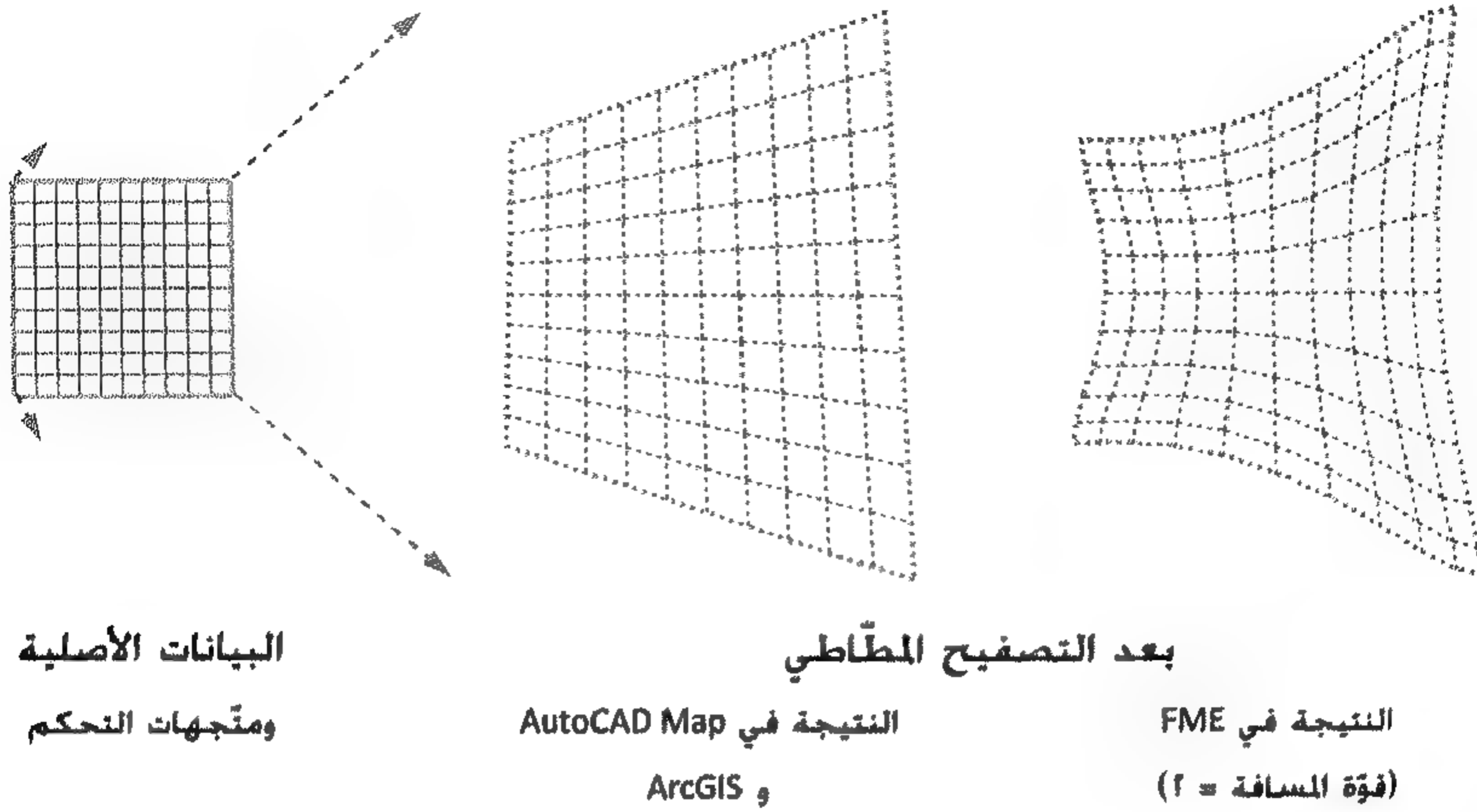
التصفيح المطاطي (rubbersheeting) في برمجيات التصميم بالحاسوب ونظام المعلومات الجغرافية هو أحد تطبيقات التحويل المتصل يتم فيه تنفيذ هذا النوع من التحويل باستخدام وسطاء تحويل مختلفة على أجزاء مختلفة من البيانات المكانية حسب التشوه الذي يعاني منه كل جزء من هذه البيانات، وذلك بدلاً من تطبيق تحويل واحد ذي وسطاء ثابتة على كامل البيانات.

إذا كان التشوه غير منتظم أو ثابت في جميع أجزاء البيانات المكانية يمكن استخدام التصفيح المطاطي وتعريف عدد كاف من نقاط التحكم المعروفة بالإحداثيات في كلا النظامين المرجعيين للإحداثيات المصدر والهدف، مثل المعالم المشتركة وزوايا الأبنية ونقاط الشبكة الجيوديسية، وتوزيعها بصورة منتظمة على كامل مساحة البيانات، تقوم هذه البرمجيات بتجزئة البيانات إلى شبكة من المثلثات واستنتاج وسطاء التحويل لكل مثلث على حدة لتحويل الإحداثيات داخل كل مثلث، ولذلك يسمى التصفيح المطاطي التحويل المتصل المجزأ (piecewise affine transformation).



الشكل 44-5 تجزئة البيانات المكانية إلى مثلثات في التصفيح المطاطي

تختلف نتائج التحويل بين برمجيات نظام المعلومات الجغرافية بصورة ملحوظة، وعندما يعمل التحويل بحيث تتأثر الكائنات المكانية التي تقع بالقرب من نقاط التحكم أكثر من الكائنات المكانية البعيدة عنها، تؤلف النقاط الواقعة على استقامة واحدة بعد تنفيذ التصفيح المطاطي أقواساً وليس خطوطاً. المثال التالي يبين الفرق بين كل من AutoCAD Map 3D و ArcGIS من جهة وبين FME من جهة أخرى:



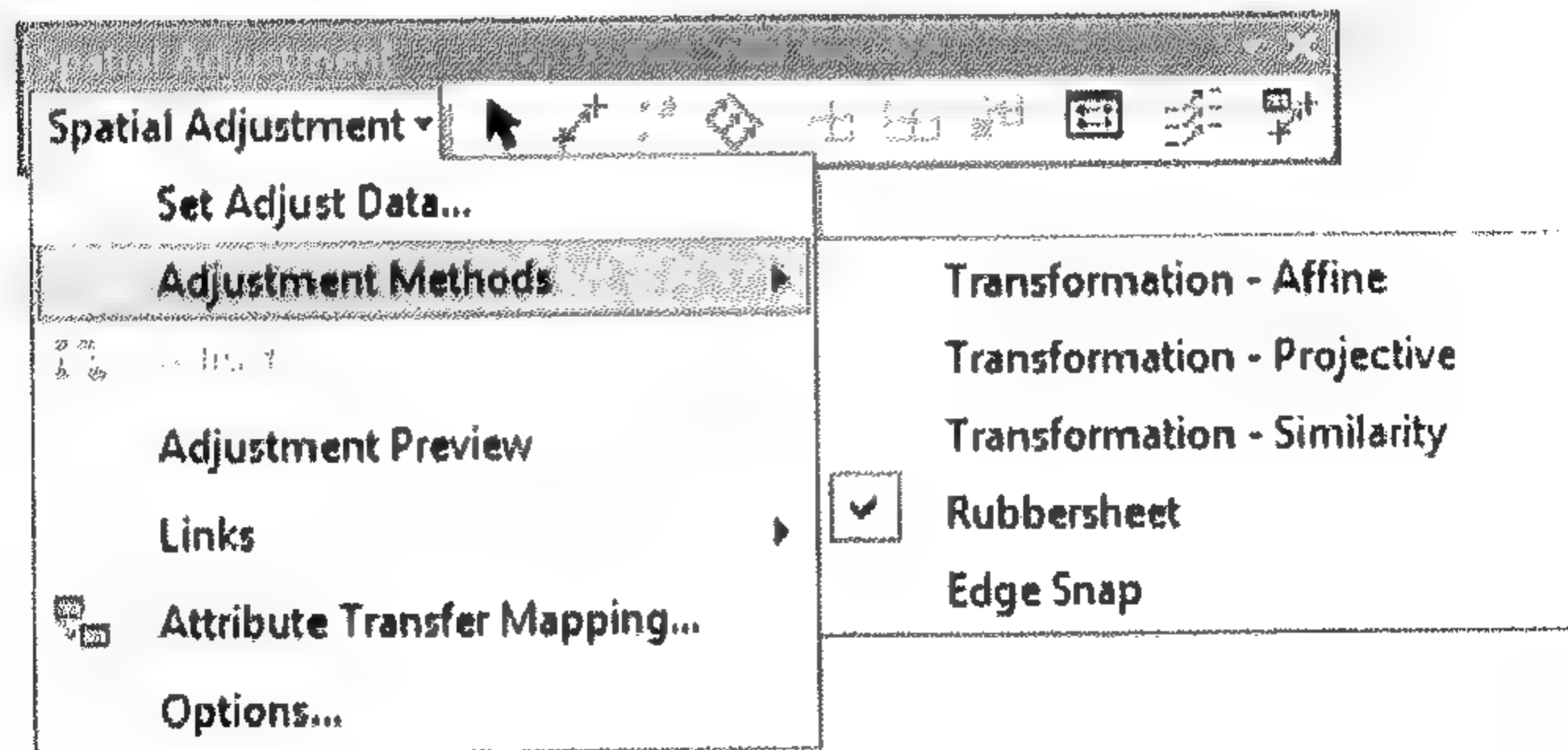
الشكل 45-5 اختلاف نتائج التصحيح المطايطي حسب برمجيات نظام المعلومات الجغرافية

يجب استخدام التصحيح المطايطي فقط في الحالات التي لا يمكن فيها مواءمة البيانات باستخدام طرق التحويل الأخرى، نظراً لأن هذا النوع من التحويلات يؤثر في دقة البيانات.



يُنقذ التصحيح المطايطي في ArcGIS من خلال شريط أدوات الضبط المكاني (Spatial Adjustment) وانتقاء Rubbersheet من القائمة Adjustment Methods.

تُعرّف وصلات الانزياح وتنفيذ التحويل بذات الخطوات المذكورة سابقاً في تحويل التشابه، ويمكن أيضاً تحديد النقاط التي لا يرغب المستخدم في تأثرها أثناء عملية التحويل باستخدام الزر New Identity Link، كما يمكن حصر التحويل في منطقة معينة من خلال تحديدها بمضلع باستخدام الزر New Limited Adjustment Area.



الشكل 46-5 التصحيح المطايطي في شريط أدوات الضبط المكاني في ArcGIS

في ArcGIS يمكن أن يكون التصفيح المطاطي خطياً أو بالاعتماد على الجوار الطبيعي (natural neighbor)، ويمكن التحكم بذلك من خلال Options في قائمة شريط الأدوات. يوفر الخيار الخطي سرعة التنفيذ ويستخدم عند توفر عدد كاف من وصلات الإزاحة، بينما يستخدم الجوار الطبيعي عندما تكون نقاط التحكم قليلة ومتباعدة.

AutoCAD® Map 3D

يقوم الأمر Rubber Sheet في AutoCAD Map 3D بتنفيذ التصفيح المطاطي بتحديد مجموعة من أزواج نقاط التحكم يتألف كل زوج منها من نقطة أساس (base point) ونقطة مرجعية (reference point)، وتُحدّد هذه النقاط باستخدام الفأرة أو بإدخال إحداثياتها في نافذة الأوامر.

Menu: Modify > Rubber Sheet

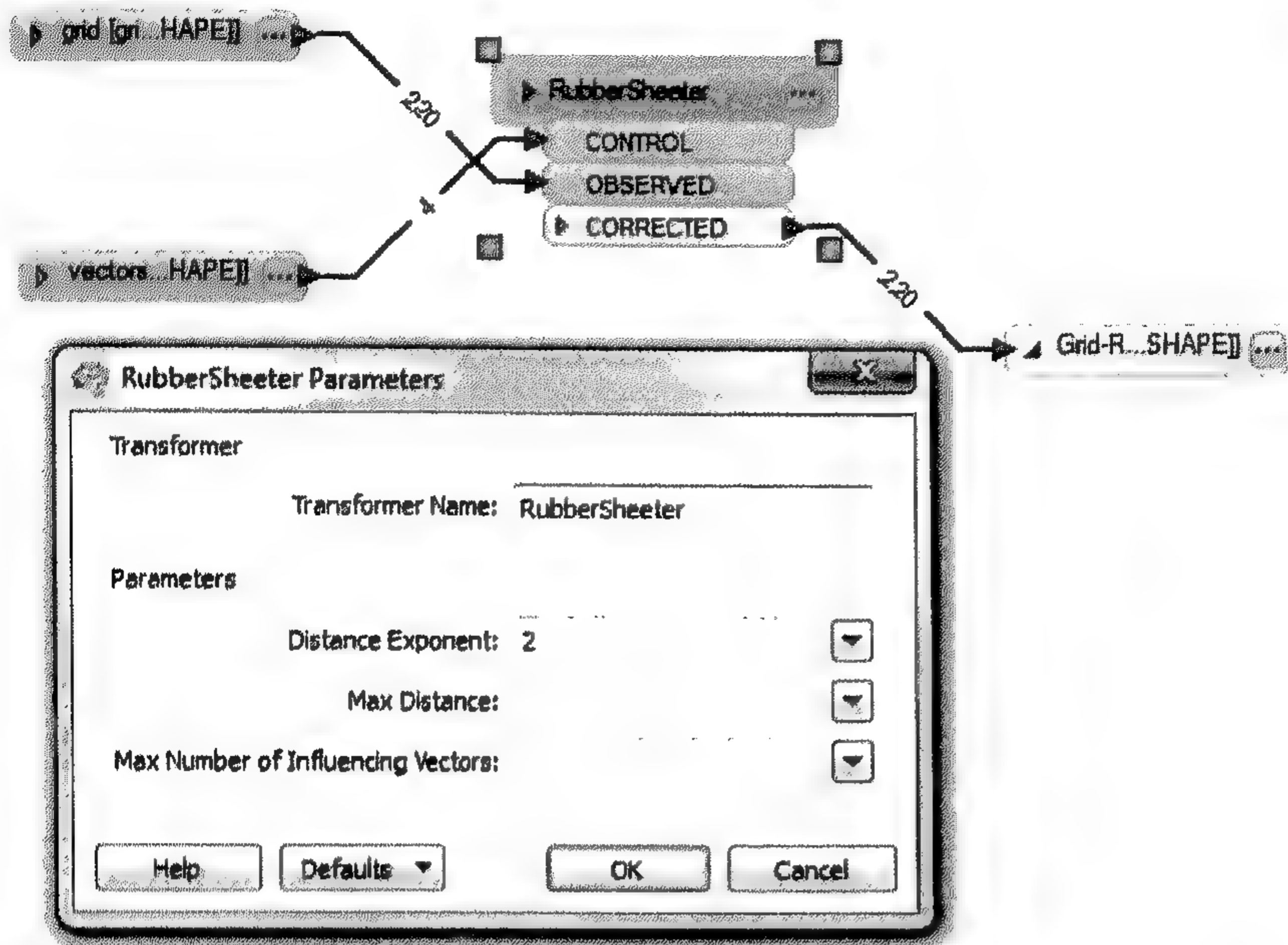
Ribbon: Tools > Map Edit > Rubber Sheet

Command: ADERSHEET

يتوفر في الملحق Raster Design في AutoCAD Map 3D أمر آخر يحمل الاسم ذاته، ولكنه يعمل على البيانات المتسامتة ويقوم بتنفيذ التحويل كثير الحدود (انظر 5.3.8 التحويل كثير الحدود).



يمكن تنفيذ التصفيح المطاطي في FME باستخدام المحوّل RubberSheeter. المثال التالي يبين تحويل البيانات بطريقة التصفيح المطاطي باستخدام أربعة متجهات تحكم مخزنة في الملف :vectors.shp



الشكل 47-5 التصفيح المطاطي باستخدام المحوّل RubberSheeter في FME

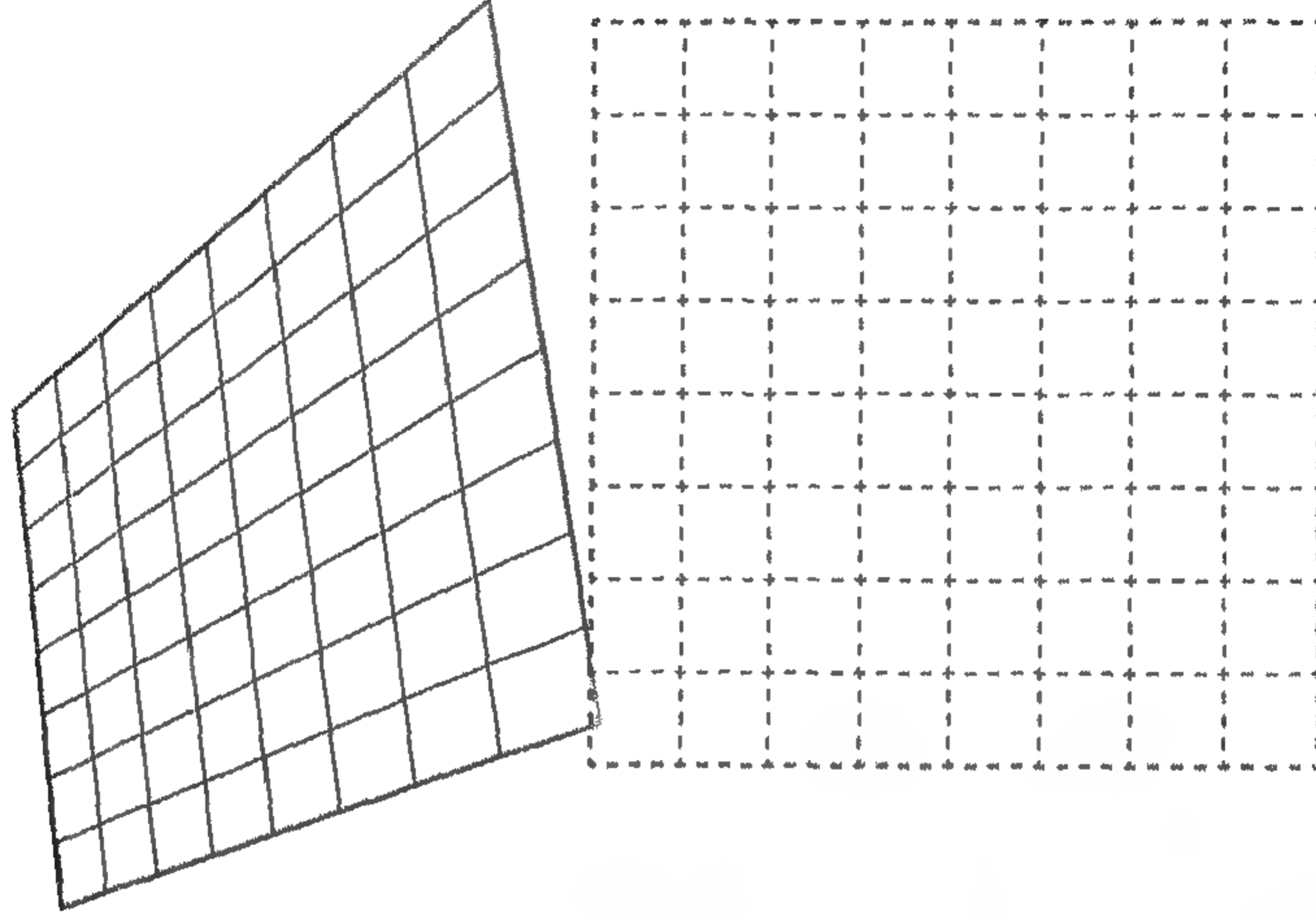
يسمح التصفيح المطاطي في FME بالتحكم بطريقة التحويل بصورة تفصيلية من خلال تحديد عدد من الوسطاء:

الوظيفة	الوسيط
يحدد الكيفية التي تتأثر بها قوة التصفيح بالمسافة بين متجه التحكم والنقطة المراد تصحيحها. القيمة 2 مثلاً تقلل من قوة التصفيح بالتناسب مع مربع المسافة بينهما.	قوة المسافة (Distance Exponent)
تحدد المسافة القصوى بين متجه التحكم والنقطة المراد تصحيحها لكي يؤثر فيها. النقاط الواقعة على مسافة أكبر من المسافة القصوى عن متجه لا تتأثر به.	المسافة القصوى (Max. Distance)
تحدد العدد الأقصى للمتجهات الواقعة بالقرب من نقطة والتي ستؤثر فيها أثناء تنفيذ التحويل.	العدد الأقصى للمتجهات المؤثرة (Max. Number of Influencing Vectors)

الجدول 12-5 وسطاء التصفيح المطاطي في FME

5.3.7. التحويل الإسقاطي

يتطلب التحويل الإسقاطي (projective transformation) تعريف أربعة أزواج من نقاط التحكم، ويعمل بطريقة مشابهة لأسلوب المنظور حيث يصار إلى إسقاط جملة الإحداثيات من مستوى على مستوى آخر، ما يسمح بمطابقة البيانات بمقادير مختلفة على طول الإسقاط المنظوري.



الشكل 5-48 التحويل الإسقاطي

..... ArcGIS

يُنَفَّذ التحويل الإسقاطي في ArcGIS من خلال شريط أدوات الضبط المكاني (Spatial Adjustment) وانتقاء Projective Transformation - القائمة Adjustment Methods.

تُعرَّف وصلات الانزياح وتنفيذ التحويل بذات الخطوات المذكورة في تحويل التشابه.

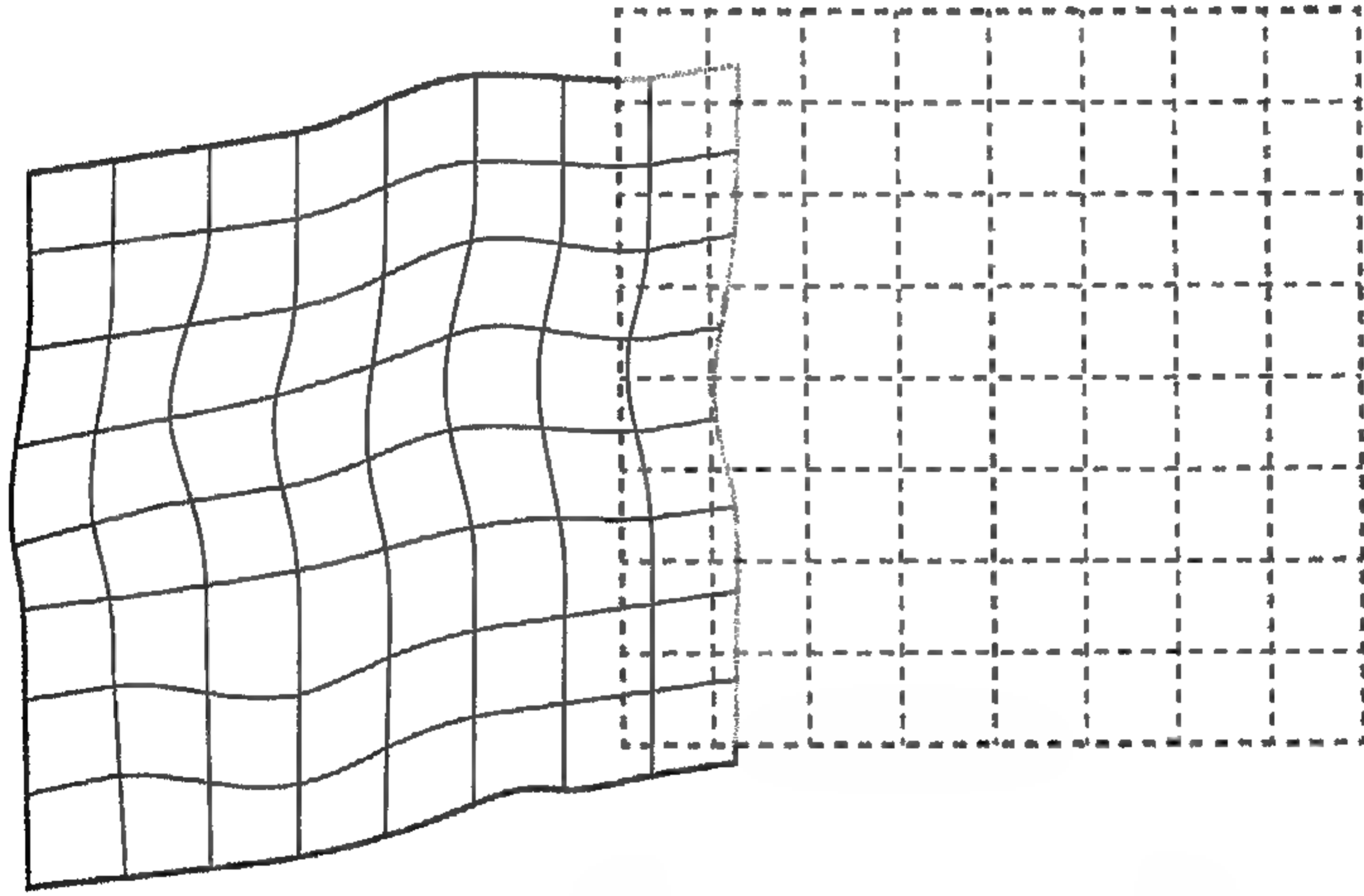
..... AutoCAD[®] Map 3D

يدعم AutoCAD Map 3D التحويل الإسقاطي أثناء تهيئة المرقم لاستخدامه في إنشاء خريطة رقمية من أخرى مطبوعة باستخدام الأمر TABLET (انظر 1.4.6 الترميم).

يمكن في Oracle Spatial إسناد البيانات المتسامية جغرافياً باعتماد التحويل الإسقاطي باستخدام الإجراء GEOREFERENCE في حزمة SDO_GEOR (انظر تعليمات الاستخدام في التحويل كثير الحدود).

5.3.8. التحويل كثير الحدود:

التحويل كثير الحدود (polynomial transformation) هو تحويل غير خطي يربط بين نظامين للإحداثيات الديكارتية ثنائية الأبعاد من خلال نقل جملة الإحداثيات، وتدويرها، وتغيير حجمها تغييراً غير ثابت. يستخدم التحويل كثير الحدود في الحالات التي يعاني فيها أحد النظامين المرجعيين للإحداثيات أو كلاهما من عدم تجانس في اتجاه ومقياس جملة الإحداثيات.

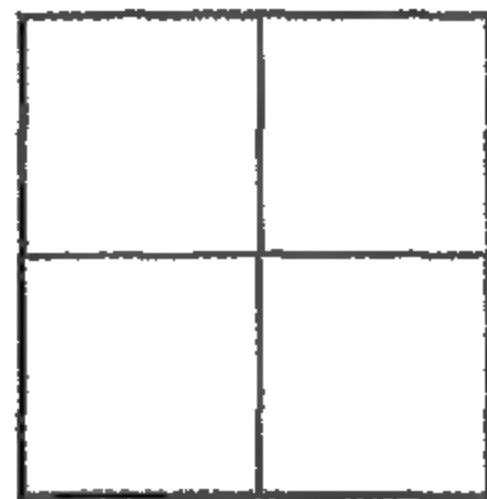


الشكل 5-49 التحويل كثير الحدود

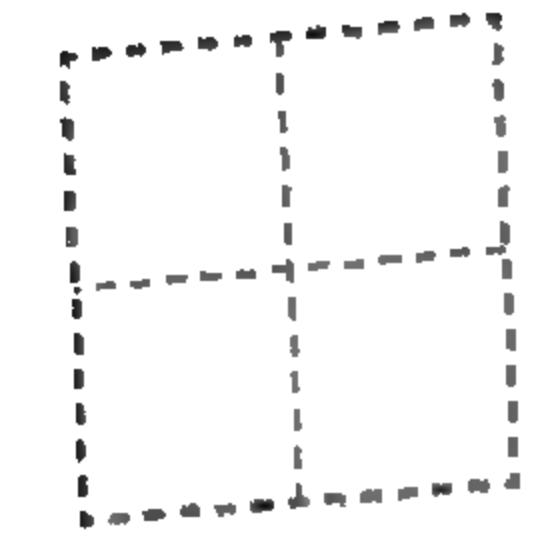
تستخدم التحويلات كثيرة الحدود في التحويل بين الأنظمة المرجعية للإحداثيات الجغرافية والإسناد الجغرافي (georeferencing) لصور الأقمار الصناعية والصور الجوية أو لمطابقة البيانات المتجهة (vector data) التي لا تتطابق بصورة صحيحة وذلك من خلال مطّ أو كمش البيانات بحيث تحاذي بيانات أخرى عادة ما تكون أكثر دقة. الصورة الجوية التي تعاني من تشوهات غير موحدة في المقياس - مثلاً - بسبب ميل الكاميرا أو طوبوغرافيا التضاريس يمكن تصحيحها تصحيحاً تقريبياً من خلال تحويل متعدد الحدود من درجة عالية (high-order). كما

يمكن تصحيح ما حدث من إزاحة في بيانات الصورة بسبب التضاريس باستخدام نموذج الارتفاع الرقمي (digital elevation model: DEM).

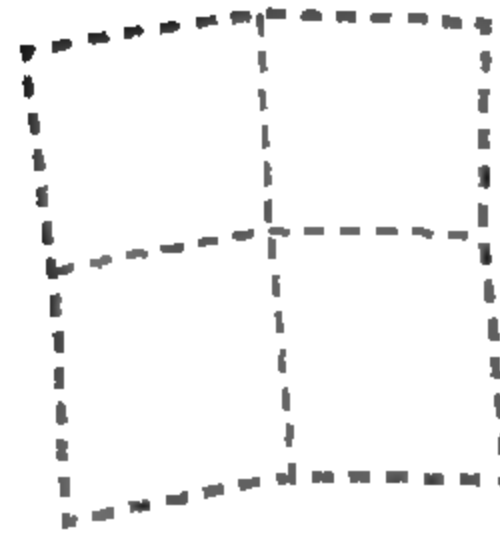
يرمز إلى التحويل كثير الحدود في قاعدة بيانات EPSG حسب درجته وحسب عكوسيته، فيرمز له بالعملية 9645 على الإحداثيات إذا كان من الدرجة الثانية، وبالعلاقة 9646 إذا كان من الدرجة الثالثة، وبالعلاقة 9647 للدرجة الرابعة، ومن الدرجة السادسة بالعملية 9648. وإذا كان التحويل كثير الحدود عكوساً فيرمز له بالعملية 9649 على الإحداثيات إذا كان من الدرجة الثانية، وبالعلاقة 9650 إذا كان من الدرجة الثالثة، وبالعلاقة 9651 للدرجة الرابعة، وهكذا.



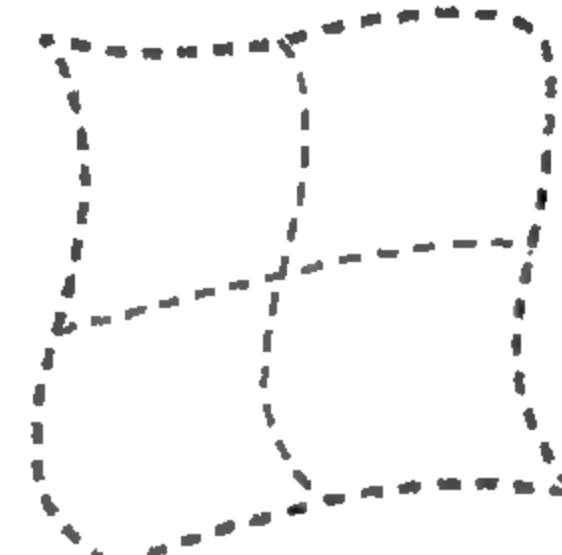
البيانات الأصلية



تحويل كثير الحدود
من الدرجة الأولى (متصل)



تحويل كثير الحدود
من الدرجة الثانية



تحويل كثير الحدود
من الدرجة الثالثة

الشكل 50-5 الفرق بين التحويلات كثيرة الحدود من الدرجات الأولى (المتصل) والثانية والثالثة

لتحديد العدد الأدنى n من أزواج نقاط التحكم المطلوبة لتحويل كثير الحدود من الدرجة p :

$$n = \frac{(p + 1)(p + 2)}{2}$$

مثلاً، يتطلب التحويل كثير الحدود من الدرجة الأولى 3 أزواج من نقاط التحكم؛ ثلاث نقاط معروفة الإحداثيات في النظام المرجعي المصدر وثلاث نقاط معروفة الإحداثيات في النظام المرجعي الهدف، والرابعة 15 زوجاً، والسادسة 28 زوجاً من نقاط التحكم، وهكذا. كما تجدر الإشارة هنا إلى ضرورة استخدام عدد من أزواج نقاط التحكم أكبر من العدد الأدنى المطلوب وذلك لرفع جودة التحويل.

يفيد هذا النوع من التحويل عندما تتطلب الصور الجوية وصور الأقمار الاصطناعية تصحيحاً هندسياً منهجياً يمكن تمثيله بكثير حدود، حيث يمكن تحديد درجة كثير الحدود المناسبة حسب التشوه الذي تعاني منه البيانات، وبصورة عامة كلما ازداد تعقيد التشوه ازدادت درجة كثير الحدود المطلوب لتصحيحه، مع العلم أن الزيادة في درجة التحويل كثير الحدود تتطلب وقتاً أطول في معالجته في برامج نظام المعلومات الجغرافية.

يمكن كتابة معادلة التحويل كثير الحدود كما يلي:

$$X_T = X_S - X_{SO} + X_{TO} + \Delta X$$

$$Y_T = Y_S - Y_{SO} + Y_{TO} + \Delta Y$$

حيث:

X_T و Y_T : الإحداثيات مقيسةً على نظام الإحداثيات الهدف.

X_S و Y_S : الإحداثيات مقيسةً على نظام الإحداثيات المصدر.

X_{SO} و Y_{SO} : إحداثيات نقطة التقييم مقيسةً على نظام الإحداثيات المصدر. وهي نقطة تساعد على التحكم بقيم الإحداثيات في نظامي الإحداثيات المصدر والهدف، ويتم التوصل إلى ذلك بإيجاد قيمة إزاحة ومقياس للإحداثيات لنقطة التقييم بحيث لا تكون الإحداثيات صغيرة جداً أو كبيرة جداً لتسهيل التعامل وتفادي المشاكل التي قد تنتج من صغر أو كبر قيم الإحداثيات.

X_{TO} و Y_{TO} : إحداثيات نقطة التقييم مقيسةً على نظام الإحداثيات الهدف.

ΔX : قيمة يتم حسابها من المعادلات كثيرة الحدود التالية حسب درجة المعادلة:

من الدرجة الثانية:

$$m_T \Delta X = A_0 + A_1 U + A_2 V + A_3 U^2 + A_4 U V + A_5 V^2$$

من الدرجة الثالثة:

$$+ A_6 U^3 + A_7 U^2 V + A_8 U V^2 + A_9 V^3$$

من الدرجة الرابعة:

$$+ A_{10} U^4 + A_{11} U^3 V + A_{12} U^2 V^2 + A_{13} U V^3 + A_{14} V^4$$

من الدرجة الخامسة:

$$+ A_{15}U^5 + A_{16}U^4V + A_{17}U^3V^2 + A_{18}U^2V^3 + A_{19}UV^4 + A_{20}V^5$$

من الدرجة السادسة:

$$+ A_{21}U^6 + A_{22}U^5V + A_{23}U^4V^2 + A_{24}U^3V^3 + A_{25}U^2V^4 + A_{26}UV^5 + A_{27}V^6$$

و ΔY :

من الدرجة الثانية:

$$m_T \Delta Y = B_0 + B_1U + B_2V + B_3U^2 + B_4UV + B_5V^2$$

من الدرجة الثالثة:

$$+ B_6U^3 + B_7U^2V + B_8UV^2 + B_9V^3$$

من الدرجة الرابعة:

$$+ B_{10}U^4 + B_{11}U^3V + B_{12}U^2V^2 + B_{13}UV^3 + B_{14}V^4$$

من الدرجة الخامسة:

$$+ B_{15}U^5 + B_{16}U^4V + B_{17}U^3V^2 + B_{18}U^2V^3 + B_{19}UV^4 + B_{20}V^5$$

من الدرجة السادسة:

$$+ B_{21}U^6 + B_{22}U^5V + B_{23}U^4V^2 + B_{24}U^3V^3 + B_{25}U^2V^4 + B_{26}UV^5 + B_{27}V^6$$

حيث U و V الإحداثيات المختزلة لكل من X و Y بالاستعانة بقيمة إزاحة وعامل مقياس للإحداثيات كما يلي:

$$U = m_S(X_S - X_{S0})$$

$$V = m_S(Y_S - Y_{S0})$$

وحيث m_s و m_T عاملا مقياس فرق الإحداثيات في نظامي الإحداثيات المرجعيين المصدر والهدف.

ملاحظة: في قاعدة بيانات EPSG تُمثل معاملات كثير الحدود بوسطاء في الصيغة $Aumvn$ و $Bumvn$ ، حيث m قوة U و n قوة V . على سبيل المثال يُمثل المعامل A_{11} بالوسيط $Au3v1$ ، والمعامل A_{24} بالوسيط $Au3v3$ ، وهكذا. يدل غياب المعامل في العملية المسجلة في قاعدة بيانات EPSG على أن قيمته صفر.

مشروع:

يراد تحويل نقطة في إيرلندا لإحداثياتها في النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية TM75 الذي يرمز إليه في قاعدة بيانات EPSG بالرمز 4300:

$$\phi_{TM75} = X_S = 55^{\circ}00'00"N$$

$$\lambda_{TM75} = Y_S = 6^{\circ}30'00"W$$

التحويل المطلوب إلى النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية ETRS89 الذي يرمز إليه في قاعدة بيانات EPSG بالرمز 2458، حيث وسطاء التحويل (عملية تحويل الإحداثيات رقم 1041 في قاعدة بيانات EPSG وهي تحويل كثير الحدود من الدرجة السادسة):

$$X_{SO} = 53^{\circ}30'00.000"N = +53.5 \text{ deg}$$

$$Y_{SO} = 7^{\circ}42' W = 7^{\circ}42'00.000"W = -7.7 \text{ deg}$$

$$X_{TO} = 53^{\circ}30' N = 53^{\circ}30'00.000"N = +53.5 \text{ deg}$$

$$Y_{TO} = 7^{\circ}42' W = 7^{\circ}42'00.000"W = -7.7 \text{ deg}$$

$$m_S = 0.1, m_T = 3600$$

$$A_0 = 0.763, A_1 = -4.487, A_2 = 0.123, A_3 = 0.215,$$

$$A_4 = -0.515, A_5 = 0.183, A_6 = -0.265, A_7 = -0.57,$$

$$A_8 = 0.414, A_9 = -0.374, A_{11} = 2.852, A_{12} = 5.703,$$

$$A_{13} = 13.11, A_{17} = -61.678, A_{18} = 113.743, A_{24} = -265.898$$

مع ملاحظة أن قيم جميع المعاملات الأخرى غير المذكورة هنا تساوي صفراً.

$$B_0 = -2.81, B_1 = -0.341, B_2 = -4.68, B_3 = 1.196,$$

$$B_4 = -0.119, B_5 = 0.17, B_6 = -0.887, B_7 = 4.877,$$

$$B_8 = 3.913, B_9 = 2.163, B_{11} = -46.666, B_{12} = -27.795, \\ B_{13} = 18.867, B_{17} = -95.377, B_{18} = -284.294, B_{24} = -853.95$$

الحل:

$$\begin{aligned} X_S - X_{S0} &= \varphi_{TM75} - \varphi_{S0} = 55.0 - 53.5 = 1.5 \text{ deg} \\ Y_S - Y_{S0} &= \lambda_{TM75} - \lambda_{S0} = -6.5 - (-7.7) = 1.2 \text{ deg} \\ U &= m_S(X_S - X_{S0}) = m_S(\varphi_{TM75} - \varphi_{S0}) = 0.1 \times (1.5) = 0.15 \\ V &= m_S(Y_S - Y_{S0}) = m_S(\lambda_{TM75} - \lambda_{S0}) = 0.1 \times (1.2) = 0.12 \\ \Delta X &= \frac{(A_0 + A_1 U + \dots + A_{24} U^3 V^3)}{m_T} \\ &= \frac{(0.763 + (-4.487 \times 0.15) + \dots + (-265.898 \times 0.15^3 \times 0.12^3))}{3600} \\ &= 0.0000297229 \\ \Delta Y &= \frac{(B_0 + B_1 U + \dots + B_{24} U^3 V^3)}{m_T} \\ &= \frac{(-2.81 + (-0.341 \times 0.15) + \dots + (-853.95 \times 0.15^3 \times 0.12^3))}{3600} \\ &= -0.0009491261 \end{aligned}$$

وبالتالي:

$$\begin{aligned} \varphi_{ETRS89} &= X_T = X_S + \Delta X = 55.0 + 0.00002972 = 55^\circ 00' 00.107'' N \\ \lambda_{ETRS89} &= Y_T = Y_S + \Delta Y = -6.5 - 0.00094913 = 6^\circ 30' 03.417'' W \end{aligned}$$

مقارنة:

إلى جانب هذه العملية للتحويل بين النظامين المرجعيين TM75 و ETRS89 المعتمدة على التحويل كثير الحدود من الدرجة السادسة تتوفر في قاعدة بيانات EPSG عملية أخرى على الإحداثيات للتحويل بين ذات النظامين المرجعيين، هي العملية رقم 1953، والمعتمدة على طريقة Helmert (انظر 5.2.1.2 طريقة Helmert). وللمقارنة مع نتائج التحويل كثير الحدود نقوم بتنفيذ طريقة Helmert لذات النقطة، حيث:

$$\begin{aligned}\Delta X &= 482.5 \text{ m} \\ \Delta Y &= -130.6 \text{ m} \\ \Delta Z &= +380.8 \text{ m} \\ R_X &= -1.042 \text{ sec} \\ R_Y &= -0.214 \text{ sec} \\ R_Z &= -0.631 \text{ sec} \\ \Delta S &= 8.15 \text{ ppm}\end{aligned}$$

نتيجة هذه العملية:

$$\begin{aligned}\varphi_{ETRS89} &= 55.00018211 = 55^{\circ}00'00.65"N \\ \lambda_{ETRS89} &= 6.49736103 = 6^{\circ}29'50.49"W\end{aligned}$$

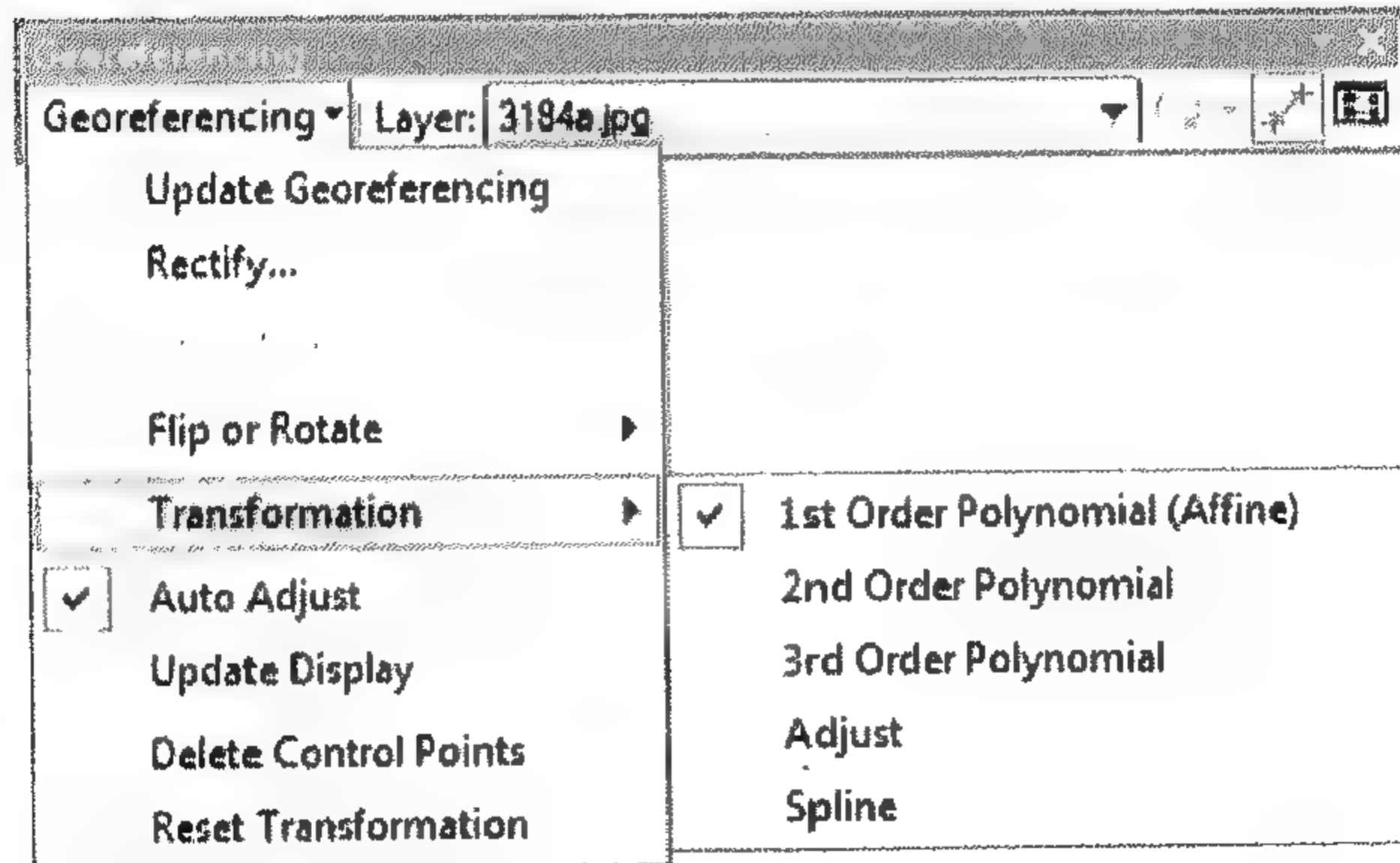
مع العلم أن دقة التحويل لهذه العملية المعتمدة على التحويل كثير الحدود 0.4 متر، ودقة التحويل للعملية الثانية المعتمدة على طريقة Helmert هي 1 متر.



ArcGIS

يُنقذ التحويل كثير الحدود في ArcGIS على البيانات المتسامة (الصور الجوية وصور الأقمار الاصطناعية أو الخرائط المسوَّحة) من خلال شريط أدوات الإسناد الجغرافي (Georeferencing).

بعد انتقاء طبقة البيانات المتسامة المطلوب تحويلها في القائمة المنسدلة Layer في شريط الأدوات:



الشكل 5-51 شريط أدوات الإسناد الجغرافي في ArcGIS

يتم بعد ذلك انتقاء نوع التحويل من Transformation في قائمة شريط الأدوات:

نوع التحويل	الشرح
0 Order Polynomial (ArcGIS 10.1)	تحويل كثير الحدود من الدرجة صفر، يقوم بإزاحة البيانات فقط، ويستخدم مع البيانات المتسامة التي لا تتطلب إسناداً جغرافياً بل يحتاج المستخدم إلى تحريكها قليلاً. يتطلب هذا التحويل زوجاً واحداً فقط من نقاط التحكم.
1st Order Polynomial (Affine)	تحويل كثير الحدود من الدرجة الأولى (تحويل متصل)، يحافظ على استقامة الخطوط ويتطلب ثلاثة أزواج من نقاط التحكم. هذا الإعداد هو الإعداد الافتراضي.
2nd Order Polynomial	تحويل كثير الحدود من الدرجة الثانية يقوم بمواءمة بيانات تعاني من تشوه معقد نسبياً، ويتطلب تصحيحها انحناء البيانات المتسامة.
3rd Order Polynomial	تحويل كثير الحدود من الدرجة الثالثة يقوم بمواءمة بيانات تعاني من تشوه أكثر تعقيداً.
Adjust	تحويل يحسن من الدقة الكلية والمحلية. يتم ذلك من خلال تنفيذ تحويل كثير الحدود أولاً، ومن ثم تعديل نقاط التحكم محلياً لتوائم بصورة أفضل نقاط تحكم الهدف باستخدام تقنية الاستكمال الداخلي وباعتماد شبكة من المثلثات غير المنتظمة بطريقة مشابهة للتصفيح المطاطي (انظر 5.3.6 التصفيح المطاطي). يتطلب هذا التحويل ثلاثة أزواج من نقاط التحكم.
Spline	تحويل يحسن من الدقة المحلية فقط، ويسمح لنقاط تحكم المصدر أن توائم نقاط تحكم الهدف بدقة، لكن البكسلات الواقعة بين نقاط تحكم المصدر والهدف تتعلق بدقة تحويلها ببعدها عن نقاط التحكم، حيث تنخفض الدقة كلما ازدادت المسافة. يتطلب هذا التحويل 10 أزواج من نقاط التحكم.
Projective (ArcGIS 10.1)	تحويل يحافظ على استقامة الخطوط ولكن الخطوط المتوازية لا تبقى كذلك بعد التحويل. يناسب هذا التحويل بعض منتجات الصور المتسامة مثل Digital Globe و Landsat ويتطلب أربعة أزواج من نقاط التحكم (انظر 5.3.7 التحويل الإسقاطي).

تُعرّف أزواج نقاط التحكم من خلال إنشاء العدد المطلوب من وصلات الانزياح باستخدام الزر Add Control Points في شريط أدوات الإسناد الجغرافي. يمكن معاينة التحويل قبل تنفيذه من خلال نافذة Update Display، بالإضافة إلى معاينة الأخطاء المتبقية والخطأ متوسط التربيع (RMSE) من جدول الوصلات بالنقر على الزر View Link Table في شريط الأدوات. بعد الانتهاء من تعريف وصلات الانزياح يمكن تحويل البيانات بالنقر فوق Rectify في قائمة شريط الأدوات.

يمكن تصحيح الصور باستخدام الأداة Wrap في ArcToolbox بذات الطريقة التي يتم فيها التصحيح باستخدام الأمر Rectify في شريط الأدوات:

ArcToolbox > Data Management Tools > Projections and Transformations > Raster > Wrap

AutoCAD®
Map 3D

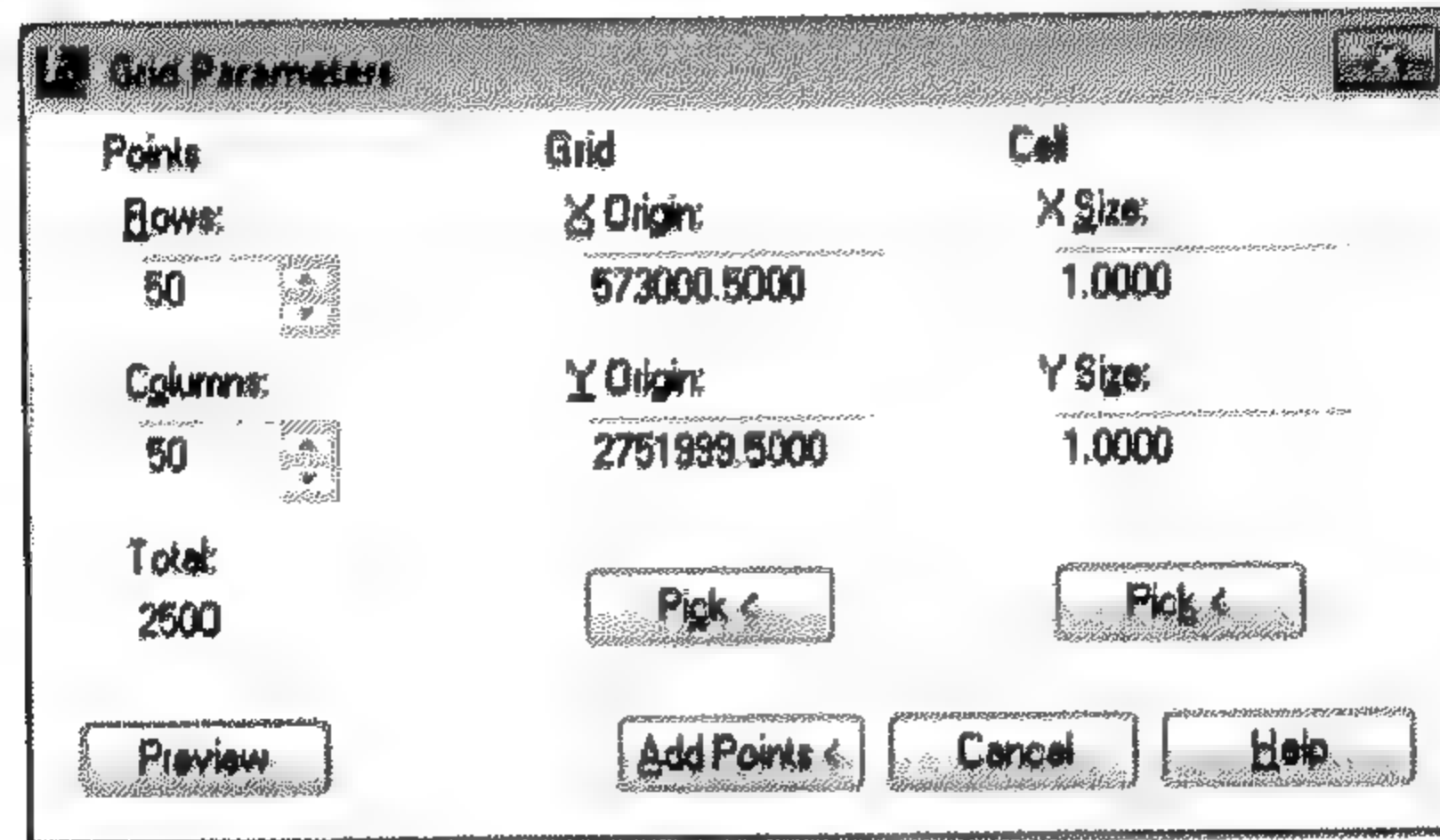
يضيف الملحق Raster Design في AutoCAD Map 3D ميزة التحويل كثير الحدود للصور الجوية وصور الأقمار الاصطناعية الخ باستخدام الأمر Rubber Sheet من مجموعة Raster Tools، وهو غير الأمر Rubber Sheet في مجموعة Map Edit.

Ribbon: Raster Tools > Correlate > Rubber Sheet

Command: IRSHEET

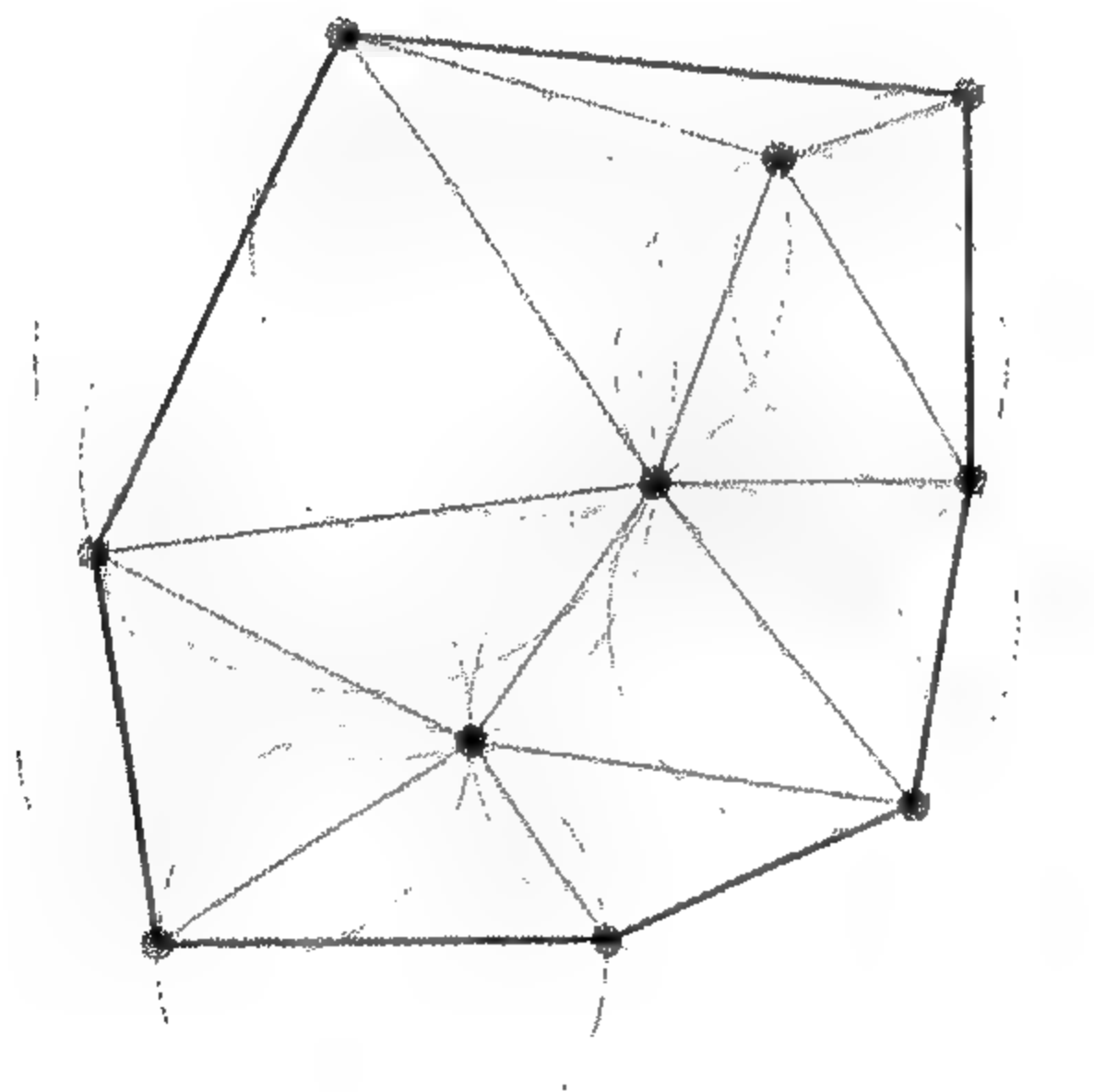
يمكن تعريف نقاط التحكم بالنقر فوق الزر Add Points، كما يمكن إنشاء شبكة مساعدة من نقاط تحكم المصدر في AutoCAD Map 3D بطريقة تلقائية بالنقر على الزر Grid Points وتعريف زاوية الصورة وحجم الخلية وعدد الصفوف والأعمدة. بعد ذلك يقوم البرنامج برسم هذه الشبكة فوق الصورة ويحث المستخدم على تحديد نقاط تحكم الهدف تباعاً لكل نقطة من نقاط شبكة نقاط تحكم المصدر. ويمكن الاستفادة من هذه الميزة عندما يكون لدينا مجموعة معروفة من نقاط تحكم الهدف التي تصنع فيما بينها شبكة مناظرة للشبكة التي ينشئها البرنامج.

يدعم البرنامج طريقتين لتحويل الصورة هما المثلثة (triangular) وكثيرة الحدود، ويمكن معاينة الأخطاء المتبقية والخطأ متوسط التربيع (RMSE) في صندوق الحوار قبل تنفيذ التحويل:



الشكل 52-5 إنشاء شبكة من نقاط تحكم المصدر تلقائياً في AutoCAD Map 3D

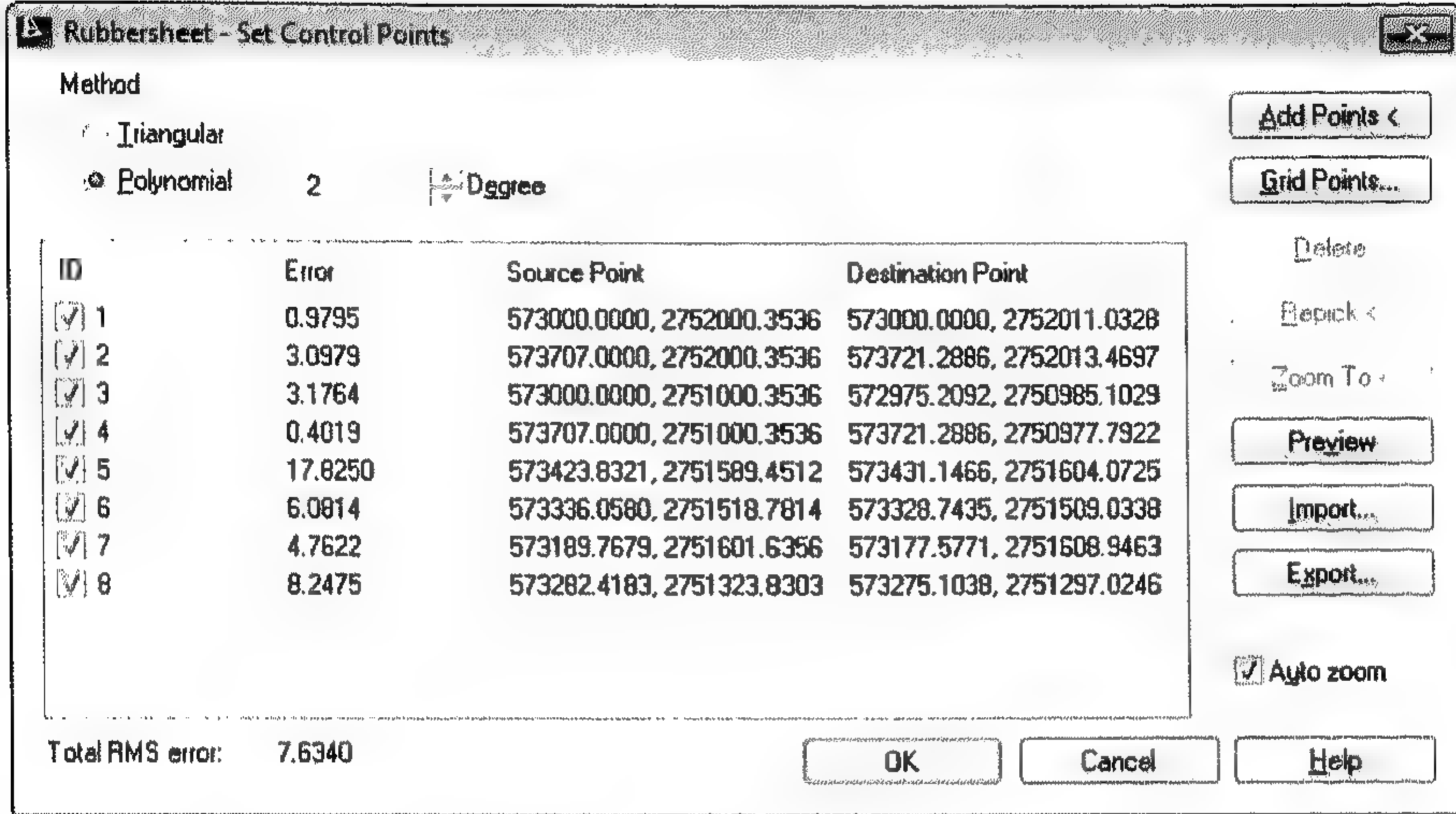
تعتمد الطريقة المثلة على تثليث ديلوني (Delaunay Triangulation) التي تقوم بإنشاء شبكة من المثلثات بين نقاط التحكم التي يدخلها المستخدم. تتميز الشبكة الناتجة من تثليث ديلوني بإمكانية رسم دائرة مارة برؤوس أي من المثلثات التي تنشأ من دون أن يقع أي رأس من رؤوس مثلث آخر داخل هذه الدائرة كما في الشكل:



الشكل 53-5 تثليث ديلوني

يتم تحويل كل منطقة مثلثة الشكل بشكل منفصل، ولذلك تُعدّ هذه الطريقة أكثر دقة من طريقة التحويل متعدد الحدود، إلا إنها تعاني من عيب كبير هو إمكانية فقدان بعض بيانات الصورة، إذ يُعرّف الجزء الذي يتم تحويله من الصورة والمسمى الغلاف المحدّب (convex hull) من النقاط الواقعة في أطراف شبكة المثلثات فقط بينما يتم تجاهل بيانات الصورة خارجه. ويمكن المحافظة على أكبر جزء من الصورة بتعريف نقاط تحكم تقع على حدود الصورة.

تعمل طريقة التحويل كثير الحدود بطريقة شبيهة بالخطوات المبينة في برنامج ArcGIS، ولكن AutoCAD Map 3D يدعم التحويل كثير الحدود حتى الدرجة الخامسة.



الشكل 54-5 الأمر Rubber Sheet من مجموعة Raster Tools في AutoCAD Map 3D

ORACLE
SPATIAL

يمكن في Oracle Spatial تحويل البيانات المتسامطة باعتماد التحويل كثير الحدود باستخدام البرنامج الفرعي GEOREFERENCE في حزمة SDO_GEOR. يتم تخزين معلومات التحويل في كائن من النوع SDO_GEOR_GCPGEOREFTYPE. تدل السمة (attribute) الأولى في هذا الكائن FFMethodType على طريقة التحويل:

القيمة	الشرح
Affine	تحويل متصل، ويتطلب على الأقل 3 أزواج من أزواج نقاط التحكم.
QuadraticPolynomial	تحويل كثير الحدود من الدرجة الثانية. يتطلب هذا التحويل 6 أزواج من أزواج نقاط التحكم.
CubicPolynomial	تحويل كثير الحدود من الدرجة الثالثة. يتطلب هذا التحويل 10 أزواج من أزواج نقاط التحكم.
DLT	التحويل الخطي المباشر (Direct Linear Transformation) هو تحويل إسقاطي (انظر 5.3.7 التحويل الإسقاطي) يتطلب 7 أزواج من أزواج نقاط التحكم.

QuadraticRational تحويل كسري من الدرجة الثانية (تحويل يمكن كتابته في صورة نسبة بين تحويلين كثيري الحدود من الدرجة الثانية). يتطلب هذا التحويل 19 زوجاً من أزواج نقاط التحكم.

RPC المعاملات كثيرة الحدود الكسرية (Rational Polynomial Coefficients) هي تحويل باستخدام نموذج رياضي يتم توفيره مع الصورة (غالباً صورة القمر الاصطناعي) ويتم باستخدام نموذج ارتفاعات رقمي (DEM). يتطلب هذا التحويل 39 زوجاً من أزواج نقاط التحكم.

الجدول 5-14 طرق تحويل البيانات المتسامة في Oracle Spatial

يتم تخزين بيانات نقاط التحكم ومعلومات التحويل في ما وراء البيانات (metadata) للصورة، ويمكن في Oracle Spatial الاستعلام عن نقاط التحكم وتعديلها وحذفها باستخدام مجموعة من البرامج الفرعية سبق شرحها (انظر 5.3.1 انتقاء نقاط التحكم وتقييم دقة التحويل).

مشروع:

مطلوب تحويل بيانات متسامة في Oracle Spatial تحويلاً كثير الحدود من الدرجة الثانية باستخدام مجموعة من نقاط التحكم (مبينة لاحقاً في الحل) لمنطقة في Massachusetts في الولايات المتحدة الأمريكية في الجدول MASSACHUSETTS_RASTER إذا كان معرف هذه البيانات المتسامة في الجدول المذكور هو 10 وأن البيانات في نظام NAD83 / Massachusetts Mainland:

الحل:

لتحويل البيانات المتسامة في Oracle Spatial تحويلاً كثير الحدود من الدرجة الثانية نعلم أن معرف النظام المرجعي للإحداثيات المسقطة Massachusetts Mainland / NAD83 هو 26986:

```
DECLARE
  g1 SDO_GEORASTER;
  georefModel SDO_GEOR_GCPGEOREFTYPE;
  GCPs SDO_GEOR_GCP_COLLECTION;
  rms sdo_number_array;

BEGIN
  SELECT georaster INTO g1 from MASSACHUSETTS_RASTER WHERE id=10 FOR UPDATE;

  GCPs := SDO_GEOR_GCP_COLLECTION(
```

```

SDO_GEOR_GCP('1', '', 1,
  2, sdo_number_array(25.625000, 73.875000),
  2, sdo_number_array(237036.937500, 897987.187500),
  NULL, NULL),

SDO_GEOR_GCP('2', '', 1,
  2, sdo_number_array(100.625000, 459.125000),
  2, sdo_number_array(237229.562500, 897949.687500),
  NULL, NULL),

SDO_GEOR_GCP('3', '', 1,
  2, sdo_number_array(362.375000, 77.875000),
  2, sdo_number_array(237038.937500, 897818.812500),
  NULL, NULL),

SDO_GEOR_GCP('4', '', 1,
  2, sdo_number_array(478.875000, 402.125000),
  2, sdo_number_array(237201.062500, 897760.562500),
  NULL, NULL),

SDO_GEOR_GCP('5', '', 1,
  2, sdo_number_array(167.470583, 64.030686),
  2, sdo_number_array(237032.015343, 897916.264708),
  NULL, NULL),

SDO_GEOR_GCP('6', '', 1,
  2, sdo_number_array(101.456177, 257.915534),
  2, sdo_number_array(237128.957767, 897949.271912),
  NULL, NULL)
);

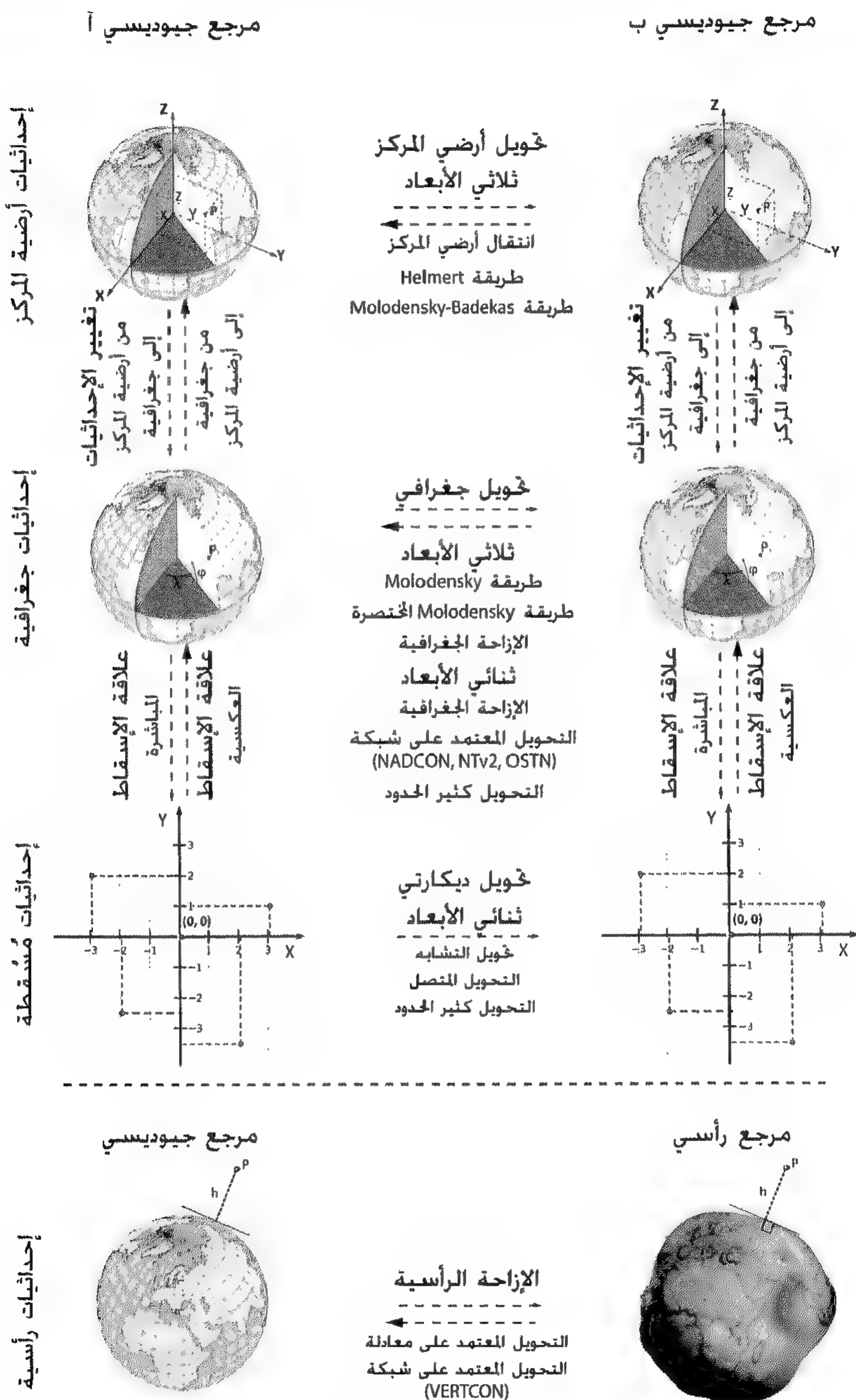
georefModel := SDO_GEOR_GCPGEOREFTYPE('QuadraticPolynomial', GCPs.count, GCPs,
NULL);

rms := sdo_geor.georeference(g1, georefModel, 'FALSE', 26986, 1);
UPDATE MASSACHUSETTS_RASTER SET georaster=g1 WHERE id=10;

COMMIT;
END;
/

```


5.4. ملخص العمليات على الإحداثيات



الشكل 5-5 ملخص العمليات على الإحداثيات

معجم المصطلحات: عربي - إنجليزي

أ

bearing	اتجاه
initial bearing	اتجاه ابتدائي
back bearing	اتجاه خلفي
service-level agreement: SLA	اتفاقية مستوى الخدمة
charge-coupled device: CCD	جهاز مزدوج الشحنة
coordinate	إحداثي
coordinates	إحداثيات
map coordinates	إحداثيات الخريطة
grid coordinates	إحداثيات تربيعة
plane coordinates	إحداثيات مستوية
projected coordinates	إحداثيات مسقط
resampling	أخذ العينات
geocoder	أداة ترميز جغرافي
geoprocessing tool	أداة معالجة جغرافية
fleet management	إدارة الأساطيل
asset management	إدارة الأصول
mobile workforce management	إدارة القوى العاملة المتنقلة
customer relationship management: CRM	إدارة علاقات الزبائن
lowest astronomical tide: LAT	أدنى جزر فلكي
correlation	ارتباط
height	ارتفاع
geoid height	ارتفاع الجيوييد
ellipsoidal height	ارتفاع إهليلجي
orthometric height	ارتفاع أورثومتري
geodetic height	ارتفاع جيوديسي
sea surface height: SSH	ارتفاع سطح البحر
height above ellipsoid: HAE	ارتفاع فوق المحسم الإهليلجي
gravity-related height	ارتفاع معتمد على الجاذبية
geocentric	أرضي المركز
translation, offset	إزاحة

geographic offset	إزاحة جغرافية
vertical offset	إزاحة رأسية
extract, transform, and load: ETL	استخراج وتحويل وتحميل
passive remote sensing	استشعار سلبي عن بعد
remote sensing: RS	استشعار عن بعد
active remote sensing	استشعار نشط عن بعد
interpolation	استكمال داخلي
bi-linear interpolation	استكمال داخلي ثنائي الخطية
celestial equator	استواء سماوي
equatorial	استوائي
cylindrical	أسطواني
projection	إسقاط، ارتسام، تسطيح
map projection	إسقاط الخريطة
cylindrical projection	إسقاط أسطواني
pseudocylindrical projection	إسقاط أسطواني زائف
analytical or non-perspective projection	إسقاط تحليلي أو غير منظوري
azimuthal projection	إسقاط سمّي
pseudoazimuthal projection	إسقاط سمّي زائف
non-perspective or analytical projection	إسقاط غير منظوري أو تحليلي
oblique stereographic projection	إسقاط مُجسّم مائل
azimuthal stereographic projection	إسقاط مُجسّم سمّي
authalic or equal-area or equiareal or equivalent projection	إسقاط مُساوي المساحة
equidistant projection	إسقاط مُساوي المسافة
gnomonic projection	إسقاط المُرولة
azimuthal orthographic projection	إسقاط مُعايد سمّي
stereographic projection	إسقاط مُجسّم
conical projection	إسقاط مخروطي
pseudoconical projection	إسقاط مخروطي زائف
polyconic projection	إسقاط مخروطي متعدد
central or centographic	إسقاط مركزي
planar projection	إسقاط مستوي
conformal projection	إسقاط مُطابق
geometric or perspective projection	إسقاط هندسي أو منظوري
projective	إسقاطي
georeferencing	إسناد جغرافي

spatial referencing	إسناد مكاني
datum origin	أصل المرجع
native	أصيل
frame	إطار
terrestrial reference frame: TRF	إطار مرجعي أرضي
International Terrestrial Reference Frame: ITRF	إطار مرجعي أرضي دولي
surface reconstruction	إعادة إنشاء السطح
	التفاف تكعيبي = طَيّ تكعيبي
extension	امتداد
translation	انتقال، إزاحة
geocentric translation	انتقال أرضي المركز
shearing	انحراف
deflection of vertical, or, vertical deflection: VD	انحراف الشاقول أو انحراف الرأس
standard deviation: σ	انحراف معياري
magnetic variation or declination	انحراف مغناطيسي
reflection	انعكاس
ellipsoidal	إهليلجي
planimetric	أفقي
orthometric	أورثومتري

ب

barometric	بارومتري
hydrographic	بحري أو مائي أو هيدروغرافي
pixel	بكسل
spatial data infrastructure: SDI	البنية التحتية للبيانات المكانية
bathymetric data	بيانات الأعماق
geospatial or spatial data	بيانات جيومكانية أو مكانية
aspatial or non-spatial data	بيانات غير مكانية
vector data	بيانات مُتَّجِهَة
raster data	بيانات متسامتة
spatial or geospatial data	بيانات مكانية أو جيومكانية
stilling well	بئر ترقيد

ت

multilateration or hyperbolic positioning	تثليث بالقطع الزائد
---	---------------------

Delaunay triangulation	تثليث ديلوني
map tiling	تجزئة الخريطة
pan	تحوّل
wi-fi-based positioning	تحديد المواقع المعتمد على نقاط وصول إنترنت لاسلكية
realization	تحقيق
viewshed analysis	تحليل الرؤية
coordinate transformation	تحويل الإحداثيات
similarity transformation	تحويل التشابه
projective transformation	تحويل إسقاطي
coordinate frame rotation transformation	تحويل دوراني لإطار الإحداثيات
polynomial transformation	تحويل كثير الحدود
affine transformation	تحويل مُتّصل
affine geometric transformation	تحويل مُتّصل هندسي
affine parametric transformation	تحويل مُتّصل وسيطي
conformal transformation	تحويل مُطابق
position vector transformation	تحويل متجه الموقع
piecewise affine transformation	تحويل متصل مجزأ
very long base-line interferometry: VLBI	تداخل خط الأساس الطويل جداً
rotation	تدوير
overlay	تذبذب الجيويدي = تمّوج الجيويدي
digitizing	تراكب
heads-up digitizing	ترقيم
geocoding	ترقيم قائم
header	ترميز جغرافي
geomarketing	ترويسة
distortion	تسطيح = إسقاط
correction	تسويق جيوميكاني
height correction	تشوّه
orthorectification	تصحيح
rubbersheeting	تصحيح الارتفاع
computer aided design: CAD	تصحيح عمودي
desktop application	تصفيح مطاطي
generalization	تصميم بالحاسوب
coordinate conversion	تطبيق مكثي
	تعميم
	تغيير الإحداثيات

zoom	تفصيلي = عقاري
geospatial or spatial technologies	تقريب/تبعيد
enlargement	تقنيات جيومكانية أو مكانية
densification	تكبير
GPS/levelling geoid undulation	تكثيف
geoid undulation	تموّج الجيويّد بالنسبة إلى نظام تحديد المواقع العالمي/التسوية
compatibility	تموّج الجيويّد، حيود الجيويّد، تذبذب الجيويّد
turn-by-turn	توافقية
spectral signature	توجيهي
	توقيع طيفي
	تيودوليت = مزواة

ث

earth-centered, earth-fixed: ECEF	ثابت ومتمركز مع الأرض
second	ثانية
arc-second: sec	ثانية قوسية
tri-axial	ثلاثي محاور
binary	ثنائي
bi-linear	ثنائي الخطية

ج

gravity	جاذبية
nearest neighbor	الجار الأقرب
geographic	جغرافي
GLONASS	جلوناس
tablets	جهاز لوحى
geodetic	جيوديسي
geodesy	جيوديسيا، جيوديزيا
Geomatics	جيوماتيكس
Geoinformatics	جيومعلوماتية
geospatial	جيومكاني
geoid	جيويّد، مجسم أرضي
geoidal	جيويدي

ح

geoid calculator	حاسبة الجيويّد
	حيود الجيويّد = تموّج الجيويّد

خ

coordinate transformation service (CTS)
 web coordinate transformation service
 (WCTS)
 web service
 location-based service: LBS
 map
 thematic map
 property
 loxodrome or rhumb line
 International Reference Meridian: IRM
 meridian
 Prime Meridian
 central meridian: CM
 line of longitude
 line of latitude
 standard line
 contour
 residual or residual error
 root-mean-square error: RMSE
 isohypses or height contours
 isobaths or depth contours
 cell
 grid cell
 algorithm

خدمة تحويل الإحداثيات
 خدمة تحويل الإحداثيات على ويب
 خدمة على ويب
 خدمة معتمدة على الموقع
 خريطة
 خريطة موضوعية
 تخصيص (مفرد خصائص)
 خط الاتجاه الثابت
 خط الزوال المرجعي الدولي
 خط زوال
 خط زوال رئيسي
 خط زوال مركزي
 خط طول
 خط عرض
 خط قياسي
 خط منسوب
 خطأ متبقي
 خطأ متوسط التربيع
 خطوط تساوي الارتفاع
 خطوط تساوي الأعماق
 خلية، بكسل
 خلية الشبكة
 خوارزمية

د

Equator
 central parallel
 great circle
 degree: deg
 order
 1st order
 degree minute second: DMS
 high-order
 decimal degree: DD

دائرة الاستواء
 دائرة العرض المركزية
 دائرة عظمى
 درجة (زاوية)
 درجة (رتبة)
 درجة أولى
 الدرجة الدقيقة الثانية
 درجة عالية
 درجة عشرية

accuracy	دقة
distance accuracy	دقة المسافة
elevation difference accuracy	دقة فرق الارتفاع
spatial accuracy	دقة مكانية
positional accuracy	دقة موقعية
gridded data position accuracy	دقة موقعية للبيانات الشبكية
absolute or external positional accuracy	دقة موقعية مطلقة أو خارجية
relative or internal positional accuracy	دقة موقعية نسبية أو داخلية
minute	دقيقة
arc-minute: min	دقيقة قوسية
metonic cycle	دورة ميتونية
cartesian	ديكارتي

ذ

business intelligence: BI	ذكاء الأعمال
---------------------------	--------------

ر

radio detection and ranging: RADAR	رادار
radian: rad	راديان
vertical	رأسي
drawing	رسم
Doppler orbitography and radiopositioning integrated by satellite: DORIS	رسم المدارات والتحديد الراديوي للمواقع بدوئلر المدججة في القمر الاصطناعي
final design drawings	رسوم التصميم النهائي
as-built drawings	رسوم طبق التنفيذ
Real Time Kinematic: RTK	رصد متحرك في الوقت الحقيقي
code	رمز

ز

longitude of natural origin	زاوية طول المبدأ الطبيعي
astronomical longitude	زاوية طول فلكي
latitude of natural origin	زاوية عرض المبدأ الطبيعي
reduced latitude	زاوية عرض مختصرة
astronomical latitude	زاوية عرض فلكي
temporal	زماني

س

azimuthal	سَمْتِي
satellite laser ranging: SLR	سبر الأقمار الاصطناعية بالليزر
lunar laser ranging: LLR	سبر القمر بالليزر
sexagesimal	سُتُونِي
registry	سجل
point cloud	سحابة نقطية
velocity	سرعة
topographic surface	سطح طبوغرافي
equi-potential surface	سطح متساوي الكمون
feature's attributes	سِمَات المعالم
celestial	سماوي
attribute	سِمَة
azimuth	سَمْت
forward azimuth	سمت أمامي
backward azimuth	سمت خلفي
confidence level	سوية ثقة

ش

map projection grid	شبكة إسقاط الخريطة
national geodetic network: NGN	شبكة جيوديسية وطنية
graticule	شبكة خطوط العرض والطول
cartographic grid	شبكة كارتوغرافية
quasi-geoid	شبه جيويدي
gravity anomaly	شدوذ الجاذبية
easting	شرقيات
false easting: FE	شرقيات زائفة
status bar	شريط الحالة
source code	شفرة مصدريّة
grid north	شمال تربيعي
geodetic north	شمال جيوديسي
true north	شمال حقيقي
magnetic north	شمال مغناطيسي
northing	شماليات
false northing: FN	شماليات زائفة
no objection certificate: NOC	شهادة عدم ممانعة

ص

orthomorphic
tectonic plate
aerial photo
orthophoto

صحيح الشكل
صفحة قارية
صورة جوية
صورة مصححة عمودياً

ض

precision

ضبط

ط

unmanned aerial vehicle: UAV
three-parameter method
seven-parameter method
ten-parameter method
Abridged Molodensky method
geometric method
topographic
sea surface topography: SST
longitude
cubic convolution

طائرة بدون طيار
طريقة الوسطاء الثلاثة
طريقة الوسطاء السبعة
طريقة الوسطاء العشرة
طريقة مولودينسكي المختصرة
طريقة هندسية
طوبوغرافي
طوبوغرافية سطح البحر
طول
طّي تكعيبي، التفاف تكعيبي

ع

scale factor
scale factor: SF
return on investment: ROI
uncertainty
latitude
decimal
cadastral
inverse relation
direct relation
control mark
azimuth mark
bench mark: B.M
depth
business operations
concatenated operation

عامل الحجم (بين مجسمين)
عامل المقياس (في الخريطة)
عائد على الاستثمار
عدم تيقن
عرض
عشري
عقاري، تفصيلي
علاقة عكسية
علاقة مباشرة
علامة تحكم
علامة سمت
علامة منسوب أو نقطة تحكم رأسية
عمق
عمليات الأعمال
عملية متسلسلة

غ

grad, gon	غراد
land cover	غطاء أرضي
convex hull	غلاف محدب

ف

interval	فاصل
ultra-short	فائق القصر
geoid separation	فرق الجيويّد
vertical datum separation	فرق المرجع الرأسى
astronomical	فلكى
cartography	فن إعداد الخرائط
online	فوري
class	فئة

ق

developable	قابل للنشر
interoperability	قابلية التشغيل المتبادل
secant	قاطع
geodatabase	قاعدة بيانات جيومكانية
normal	قائم
pole	قطب
International Reference Pole: IRP	قطب مرجعي دولي
polar	قطبي
tile	قطعة مربعة
satellite	قمر اصطناعي
bathymetry	قياس الأعماق

ك

cartographic	كارتوغرافي
entity or object	كائن
sphere	كرة
authalic sphere	كرة مُساوية المساحة
conformal sphere	كرة مُطابقة
Compass	كومباس (نظام)

ل

light detection and ranging: LIDAR
 aspatial or non-spatial
 laser detection and ranging: LADAR
 eccentricity
 epoch
 on the fly
 tab
 text markup language
 digitizing tablet

ليدار
 لا مكاني، غير مكاني
 لادار
 لا مركزية، تباعد مركزي
 لحظة
 لحظياً
 لسان التبويب
 لغة ترميز نصية
 لوح ترقيم

م

feature
 vector
 affine
 ellipsoid of rotation
 ellipsoid
 filter
 digitizer
 projected
 authalic
 equidistant
 receiver
 georeferenced
 conformal
 spatial reference system identifier: SRID
 propagated
 theodolite
 metadata
 oblique
 natural origin
 built-in
 control vector
 raster
 simple average
 weighted average
 mean sea level: MSL

معلم
 متجه
 متصل
 مجسم إهليلجي دوراني
 مجسم إهليلجي
 مرشح
 مرقم
 منقط
 مساوي المساحة
 مساوي المسافة
 مستقبل
 مسند جغرافياً
 مطابق
 معرف النظام المرجعي المكاني
 منتشر
 ميزواة أو تيودوليت
 ما وراء البيانات
 مائل
 مبدأ طبيعي
 مبنئ
 متجه تحكم
 متسامت
 متوسط بسيط
 متوسط موزون
 متوسط منسوب البحر

spheroid	مجسم أرضي = جيونيد
beacon	مجسم كروي
station or control point	محطة إرشاد
triangulation station	محطة، نقطة تحكم
traverse station	محطة تثليث
gravity station	محطة تضليع
local	محطة جاذبية
transformer	محلي
custom transformer	محول
conical	محول مخصص
polyconic	مخروطي
bathymetric chart	مخروطي متعدد
hydrographic chart	مخطط الأعماق
100,000-meter square	مخطط هيدروغرافي أو مائي أو بحري
datum	مربعات المائة كيلومتر
geodetic datum	مراجع
vertical datum	مراجع جيوديسي
local datum	مراجع رأسي
surveying	مراجع محلي
Inertial surveying	مساحة (علم)
hydrographic surveying	مساحة بالقصور الذاتي
photogrammetry	مساحة بحرية أو مائية
geodetic surveying	مساحة تصويرية
topographic surveying	مساحة جيوديسية
cadastral surveying	مساحة طوبوغرافية
hydrographic surveying	مساحة عقارية أو تفصيلية
plane surveying	مساحة مائية أو بحرية
engineering surveying	مساحة مستوية
orthodrome	مساحة هندسية
leveling route	مسار أقصر (بين أي نقطتين على سطح الأرض)
transverse	مسار تسوية
plane	مستعرض
scanning	مستو
source	مسح
conformance	مصدر
	مطابقة

plumb line	مطمار أو خيط الشاقول
Laplace equation	معادلة لابلاس
geoprocessing	معالجة جغرافية
post processing	معالجة البيانات لاحقاً
calibration	معايرة
gravity-related	معتمد على الجاذبية
grid-based	معتمد على شبكة
equation-based	معتمد على معادلة
gazetteer	معجم جغرافي
geographic identifier	معرف جغرافي
geographic information	معلومات جغرافية
oblate	مفلطح
gravimeter	مقياس الجاذبية
map scale	مقياس الخريطة
tidal gauge or marigraph	مقياس المد والجزر
point scale	مقياس النقطة
radiometer	مقياس إشعاع
particular or actual scale	مقياس خاص، مقياس فعلي
principal scale	مقياس رئيسي
true scale	مقياس صحيح
small scale	مقياس صغير
	مقياس فعلي = مقياس خاص
large scale	مقياس كبير
spatial	مكاني
navigation	ملاحة
turn-by-turn navigation	ملاحة توجيهية
extension	ملحق
map file	ملف الخريطة
drawing file	ملف الرسم
world file	ملف العالم
sidecar file	ملف مرافق
auxiliary file	ملف مساعد
tangent	مماس
scanned	ممسوح (ناتج من عملية مسح)
spatially enabled	ممكّن مكانياً
proprietary	مملوك (لشركة)

monumented	منصوب (مثبت على الأرض)
zone	منطقة
grid zone	منطقة الشبكة
aspect	منظر
equatorial aspect	منظر استوائي
normal aspect	منظر قائم
oblique aspect	منظر مائل
transverse aspect	منظر مستعرض
alignment	موازية
standard parallel	مواز قياسي
parallel	مواز
numerical location	موقع عددي
positional	موقعي
enterprise	مؤسسي
puck	مؤشر
Universal Transverse Mercator: UTM	ميركاتور المستعرض العالمي
marine chronometer	مقياسية بحرية

ن

normal	ناظم (عمودي على سطح)
prime vertical	ناظم أعظم
Polaris	نجم الجدي
well-known text: WKT	نص معروف
hemisphere	نصف الكرة
radius of curvature	نصف قطر الانحناء
latitude band	نطاق عرضي
system	نظام
Universal Polar Stereographic: UPS	نظام الإحداثيات المجسم القطبي العالمي
geographic information system: GIS	نظام المعلومات الجغرافية
coordinate system: CS	نظام إحداثيات
ellipsoidal coordinate system	نظام إحداثيات إهليلجية
geodetic coordinate system	نظام إحداثيات جيوديسية
cartesian coordinate system	نظام إحداثيات ديكارتية
vertical coordinate system	نظام إحداثيات رأسية
coordinate reference system: CRS	نظام إحداثيات مرجعي
gravity-related coordinate system	نظام إحداثيات معتمدة على الجاذبية

linear referencing system: LRS	نظام إسناد طولي
global positioning system: GPS	نظام تحديد المواقع العالمي
differential global positioning system: DGPS	نظام تحديد المواقع العالمي التفاضلي
assisted global positioning system: A-GPS or aGPS	نظام تحديد المواقع العالمي المعزز
local positioning system: LPS	نظام تحديد المواقع المحلي
network based positioning	نظام تحديد المواقع المعتمد على الشبكة
indoor positioning system: IPS	نظام تحديد المواقع داخل المباني
spatial decision support systems: SDSS	نظام دعم القرار المكاني
global navigation satellite system: GNSS	نظام عالمي للملاحة بالأقمار الاصطناعية
International Terrestrial Reference System: ITRS	نظام مرجعي أرضي دولي
geographic coordinate reference system: GeogCRS	نظام مرجعي للإحداثيات الجغرافية
vertical coordinate reference system: VertCRS	نظام مرجعي للإحداثيات الرأسية
temporal coordinate reference system	نظام مرجعي للإحداثيات الزمانية
projected coordinate reference system: ProjCRS	نظام مرجعي للإحداثيات المُسقَّطة
compound coordinate reference system: CCRS	نظام مرجعي للإحداثيات المركَّبة
engineering coordinate reference system	نظام مرجعي للإحداثيات الهندسية
geocentric coordinate reference system	نظام مرجعي للإحداثيات أرضية المركز
world geographic reference system: GEOREF	النظام المرجعي الجغرافي العالمي
military grid reference system: MGRS	النظام المرجعي للشبكة العسكرية
spot heights	نقاط الارتفاعات المدققة
datum anchor point	نقطة إرساء المرجع
base point	نقطة أساس
fundamental point or initial point	نقطة أولية
control point or station	نقطة تحكم، محطة
reference point	نقطة مرجعية
model	نموذج
digital elevation model: DEM	نموذج ارتفاع رقمي
geoid model	نموذج الجيويدي
3D city model	نموذج المدينة ثلاثي الأبعاد
digital terrain model: DTM	نموذج تضاريس رقمي

digital surface model: DSM
local geoid
data type

نموذج سطح رقمي
نموذج محلي للجيوئيد
نوع بيانات

هـ

smart phone
Target
feature's geometry
format
well-known binary: WKB

هاتف ذكي
هدف
هندسة المعالم
هيئة
هيئة ثنائية معروفة

و

snap
parameters
translation parameters
rotation parameters
parameter
correction parameter
parametric
displacement link
ground resolution
Web Mercator

وثب
وسطاء
وسطاء الانتقال
وسطاء الدوران
وسيط
وسيط تصحيح
وسيطي
وصلة انزياح
وضوح أرضي
ويب ميركاتور

معجم المصطلحات: إنجليزي - عربي

A

100,000-meter square	مربعات المائة كيلومتر
1st order	درجة أولى
3D city model	نموذج المدينة ثلاثي الأبعاد
Abridged Molodensky method	طريقة مولودينسكي المختصرة
absolute or external positional accuracy	دقة موقعية مطلقة أو خارجية
accuracy	دقة
active remote sensing	استشعار نشط عن بعد
actual or particular scale	مقياس فعلي أو خاص
aerial photo	صورة جوية
affine	متّصل
affine geometric transformation	تحويل متّصل هندسي
affine parametric transformation	تحويل متّصل وسيطي
affine transformation	تحويل متّصل
algorithm	خوارزمية
alignment	مواءمة
analytical or non-perspective projection	إسقاط تحليلي أو غير منظوري
arc-minute: min	دقيقة قوسية
arc-second: sec	ثانية قوسية
as-built drawings	رسوم طبق التنفيذ
aspatial or non-spatial	لا مكاني أو غير مكاني
aspatial or non-spatial data	بيانات لا مكانية أو غير مكانية
aspect	منظر
asset management	إدارة الأصول
assisted global positioning system: A-GPS or aGPS	نظام تحديد المواقع العالمي المعزّز
astronomical	فلكي
astronomical latitude	زاوية عرض فلكي
astronomical longitude	زاوية طول فلكي
attribute	سمة
authalic	مُساوي المساحة
authalic or equal-area or equiareal or	إسقاط مُساوي المساحة

equivalent projection

authalic sphere

auxiliary file

azimuth

azimuth mark

azimuthal

azimuthal orthographic projection

azimuthal projection

azimuthal stereographic projection

كرة مُساوية المساحة

ملف مساعد

سمت

علامة سمت

سمتي

إسقاط متعامد سمتي

إسقاط سمتي

إسقاط مُجسّم سمتي

B

back bearing

backward azimuth

barometric

base point

bathymetric chart

bathymetric data

bathymetry

beacon

bearing

bench mark: B.M

bi-linear

bi-linear interpolation

binary

built-in

business intelligence: BI

business operations

اتجاه خلفي

سمت خلفي

بارومتري

نقطة أساس

مخطط الأعماق

بيانات الأعماق

قياس الأعماق

محطة إرشاد

اتجاه

علامة منسوب أو نقطة تحكم رأسية

ثنائي الخطية

استكمال داخلي ثنائي الخطية

ثنائي

مبنية

ذكاء الأعمال

عمليات الأعمال

C

cadastral

cadastral surveying

calibration

cartesian

cartesian coordinate system

cartographic

cartographic grid

cartography

celestial

عقاري أو تفصيلي

مساحة عقارية أو تفصيلية

معايرة

ديكارتي

نظام إحداثيات ديكارتية

كارتوغرافي

شبكة كارتوغرافية

فن إعداد الخرائط

سماوي

celestial equator	استواء سماوي
cell	خلية
central meridian: CM	خط زوال مركزي
central or centrographic	إسقاط مركزي
central parallel	دائرة العرض المركزية
charge-coupled device: CCD	جهاز مزدوج الشحنة
class	فئة
code	رمز
Compass	كومباس
compatibility	توافقية
compound coordinate reference system: CCRS	نظام مرجعي للإحداثيات المركبة
Computer Aided Design: CAD	تصميم بالحاسوب
concatenated operation	عملية مُتسلسلة
confidence level	سوية ثقة
conformal	مُطابق
conformal projection	إسقاط مطابق
conformal sphere	كرة مطابقة
conformal transformation	تحويل مُطابق
conformance	مطابقة
conical	مخروطي
conical projection	إسقاط مخروطي
contour	خط منسوب
control mark	علامة تحكم
control point or station	نقطة تحكم أو محطة
control vector	متجه تحكم
convex hull	غلاف محدب
coordinate	إحداثي
coordinate conversion	تغيير الإحداثيات
coordinate frame rotation transformation	تحويل دوراني لإطار الإحداثيات
coordinate reference system: CRS	نظام إحداثيات مرجعي
coordinate system: CS	نظام إحداثيات
coordinate transformation	تحويل الإحداثيات
coordinate transformation service (CTS)	خدمة تحويل الإحداثيات
coordinates	إحداثيات
correction	تصحيح

correction parameter	وسيط تصحيح
correlation	ارتباط
cubic convolution	طى أو التفاف تكعيبي
custom transformer	محوّل مخصّص
customer relationship management: CRM	إدارة علاقات الزبائن
cylindrical	أسطواني
cylindrical projection	إسقاط أسطواني

D

data type	نوع بيانات
datum	مرجع
datum anchor point	نقطة إرساء المرجع
datum origin	أصل المرجع
decimal	عشري
decimal degree: DD	درجة عشرية
deflection of vertical, or, vertical deflection: VD	انحراف الشاقول أو انحراف الرأسى
degree minute second: DMS	الدرجة الدقيقة الثانية
degree: deg	درجة
Delaunay triangulation	تثليث ديلوني
densification	تكثيف
depth	عمق
depth contours or isobaths	خطوط تساوي الأعماق
desktop application	تطبيق مكتبي
developable	قابل للنشر
differential global positioning system: DGPS	نظام تحديد المواقع العالمى التفاضلي
digital elevation model: DEM	نموذج ارتفاع رقمى
digital surface model: DSM	نموذج سطح رقمى
digital terrain model: DTM	نموذج تضاريس رقمى
digitizer	مُرَقِّم
digitizing	ترقيم
digitizing tablet	لوحة الترقيم
direct relation	علاقة مباشرة
displacement link	وصلة انزياح
distance accuracy	دقة المسافة
distortion	تشوّه
Doppler orbitography and radiopositioning	رسم المدارات والتحديد الراديوي للمواقع بدوبلر المدججة في

integrated by satellite: DORIS

القمر الاصطناعي

drawing

رسم

drawing file

ملف الرسم

E

earth-centered, earth-fixed: ECEF

ثابت ومتمركز مع الأرض

easting

شرقيات

eccentricity

لا مركزية، تباعد مركزي

elevation difference accuracy

دقة فرق الارتفاع

ellipsoid

مُجَسِّم إهليلجي

ellipsoid of rotation

مُجَسِّم إهليلجي دوراني

ellipsoidal

إهليلجي

ellipsoidal coordinate system

نظام إحداثيات إهليلجية

ellipsoidal height

ارتفاع إهليلجي

engineering coordinate reference system

نظام مرجعي للإحداثيات الهندسية

engineering surveying

مساحة هندسية

enlargement

تكبير

enterprise

مؤسسي

entity

كائن

epoch

لحظة

equal-area or equiareal or equivalent or

إسقاط مُساوي المساحة

authalic projection

equation-based

معتمد على معادلة

Equator

دائرة الاستواء

equatorial

استوائي

equatorial aspect

منظر استوائي

equidistant

مُساوي المسافة

equidistant projection

إسقاط مُساوي المسافة

equi-potential surface

سطح متساوي الكمون

extension

امتداد

extension

ملحق

extract, transform, and load: ETL

استخراج وتحويل وتحميل

F

false easting: FE

شرقيات زائفة

false northing: FN

شماليات زائفة

feature

مَعْلَم

feature's attributes

سمات المعالم

feature's geometry	هندسة المعالم
filter	مُرشّح
final design drawings	رسوم التصميم النهائي
fleet management	إدارة الأساطيل
format	هيئة
forward azimuth	سمت أمامي
frame	إطار
fundamental point	نقطة أولية

G

gazetteer	معجم جغرافي
generalization	تعميم
geocentric	أرضي المركز
geocentric coordinate reference system	نظام مرجعي للإحداثيات أرضية المركز
geocentric translation	انتقال أرضي المركز
geocoder	أداة ترميز جغرافي
geocoding	ترميز جغرافي
geodatabase	قاعدة بيانات جيومكانية
geodesy	جيوديسيا أو جيوديزيا
geodetic	جيوديسي
geodetic coordinate system	نظام إحداثيات جيوديسية
geodetic datum	مرجع جيوديسي
geodetic height	ارتفاع جيوديسي
geodetic north	شمال جيوديسي
geodetic surveying	مساحة جيوديسية
geographic	جغرافي
geographic coordinate reference system:	نظام مرجعي للإحداثيات الجغرافية
GeogCRS	
geographic identifier	معرف جغرافي
geographic information	معلومات جغرافية
geographic information system: GIS	نظام المعلومات الجغرافية
geographic offset	إزاحة جغرافية
geoid	جيوئيد أو مجسم أرضي
geoid calculator	حاسبة الجيوئيد
geoid height	ارتفاع الجيوئيد
geoid model	نموذج الجيوئيد
geoid separation	فرق الجيوئيد

geoid undulation	تموج الجيوئيد، حيود الجيوئيد، تذبذب الجيوئيد
geoidal	جيوئيدي
Geoinformatics	جيومعلوماتية
geomarketing	تسويق جيومكاني
Geomatics	جيوماتيكس
geometric method	طريقة هندسية
geometric or perspective projection	إسقاط هندسي أو منظوري
geoprocessing	معالجة جغرافية
geoprocessing tool	أداة معالجة جغرافية
georeferenced	مُسند جغرافياً
georeferencing	إسناد جغرافي
geospatial	جيومكاني
geospatial or spatial data	بيانات جيومكانية أو مكانية
geospatial technology	تقنيات جيومكانية
global navigation satellite system: GNSS	نظام عالمي للملاحة بالأقمار الاصطناعية
global positioning system: GPS	نظام تحديد المواقع العالمي
GLONASS	جلوناس
gnomonic projection	إسقاط المُرولة
GPS/levelling geoid undulation	تموج الجيوئيد بالنسبة إلى نظام تحديد المواقع العالمي/التسوية
grad, gon	غراد
graticule	شبكة خطوط العرض والطول
gravimeter	مقياس الجاذبية
gravity	جاذبية
gravity anomaly	شدوذ الجاذبية
gravity station	محطة جاذبية
gravity-related	معتمد على الجاذبية
gravity-related coordinate system	نظام إحداثيات معتمدة على الجاذبية
gravity-related height	ارتفاع معتمد على الجاذبية
great circle	دائرة عظمى
grid cell	خلية الشبكة أو البكسل
grid coordinates	إحداثيات تربيعة
grid north	شمال تربيعة
grid zone	منطقة الشبكة
grid-based	معتمد على شبكة
gridded data position accuracy	دقة موقعية للبيانات الشبكية
ground resolution	وضوح أرضي

H

header	ترؤيسة
heads-up digitizing	ترقيم قائم
height	ارتفاع
height above ellipsoid: HAE	ارتفاع فوق المجسم الإهليلجي
height contours or isohypses	خطوط تساوي الارتفاع
height correction	تصحيح الارتفاع
hemisphere	نصف الكرة
high-order	درجة عالية
hydrographic	بحري أو مائي
hydrographic chart	مخطط هيدروغرافي أو مائي أو بحري
hydrographic surveying	مساحة بحرية أو مائية
hydrographic surveying	مساحة مائية أو بحرية
hydrography	مساحة مائية

I

indoor positioning system: IPS	نظام تحديد المواقع داخل المباني
Inertial surveying	مساحة بالقصور الذاتي
initial bearing	اتجاه ابتدائي
initial point	نقطة أولية
International Reference Meridian: IRM	خط الزوال المرجعي الدولي
International Reference Pole: IRP	قطب مرجعي دولي
International Terrestrial Reference Frame: ITRF	إطار مرجعي أرضي دولي
International Terrestrial Reference System: ITRS	نظام مرجعي أرضي دولي
interoperability	قابلية التشغيل المتبادل
interpolation	استكمال داخلي
interval	فاصل
inverse relation	علاقة عكسية
isobaths or depth contours	خطوط تساوي الأعماق
isohypses or height contours	خطوط تساوي الارتفاع

L

land cover	غطاء أرضي
Laplace equation	معادلة لابلاس
large scale	مقياس كبير
laser detection and ranging: LADAR	لادار

latitude	عرض
latitude band	نطاق عرضي
latitude of natural origin	زاوية عرض المبدأ الطبيعي
leveling route	مسار تسوية
light detection and ranging: LIDAR	ليدار
line of latitude	خط عرض
line of longitude	خط طول
linear referencing system: LRS	نظام إسناد طولي
local	محلي
local datum	مرجع محلي
local geoid	نموذج محلي للجيوئيد
local positioning system: LPS	نظام تحديد المواقع المحلي
location-based service: LBS	خدمة معتمدة على الموقع
longitude	طول
longitude of natural origin	زاوية طول المبدأ الطبيعي
lowest astronomical tide: LAT	أدنى جزر فلكي
loxodrome or rhumb line	خط الاتجاه الثابت
lunar laser ranging: LLR	سبر القمر بالليزر

M

magnetic north	شمال مغناطيسي
magnetic variation or declination	انحراف مغناطيسي
map	خريطة
map coordinates	إحداثيات الخريطة
map file	ملف الخريطة
map projection	إسقاط الخريطة
map projection grid	شبكة إسقاط الخريطة
map scale	مقياس الخريطة
map tiling	تجزئة الخريطة
marigraph or tidal gauge	مقياس المد والجزر
marine chronometer	مقاتية بحرية
mean sea level: MSL	متوسط منسوب البحر
meridian	خط زوال
metadata	ما وراء البيانات
metonic cycle	دورة ميتونية
military grid reference system: MGRS	النظام المرجعي للشبكة العسكرية
minute	دقيقة

mobile workforce management
model
monumented
multilateration or hyperbolic positioning

إدارة القوى العاملة المتنقلة
نموذج
منصوب (مثبت على الأرض)
تثليث بالقطع الزائد

N

national geodetic network: NGN
native
natural origin
navigation
nearest neighbor
network based positioning
no objection certificate: NOC
non-perspective or analytical projection
non-spatial or aspatial data
normal
normal
normal aspect
northing
numerical location

شبكة جيوديسية وطنية
أصيل
مبدأ طبيعي
ملاحة
الجار الأقرب
نظام تحديد المواقع المعتمد على الشبكة
شهادة عدم ممانعة
إسقاط غير منظوري أو تحليلي
بيانات غير مكانية
قائم (عمودي)
ناظم (عمودي على سطح)
منظر قائم
شماليات
موقع عددي

O

object
oblate
oblique
oblique aspect
oblique stereographic projection
on the fly
online
order
orthodrome
orthometric
orthometric height
orthomorphic
orthophoto
orthorectification
overlay

كائن
مفلطح
مائل
منظر مائل
إسقاط مُجسَّم مائل
لحظياً
فوري
درجة
مسار أقصر (بين أي نقطتين على سطح الأرض)
أورثومتري
ارتفاع أورثومتري
صحيح الشكل
صورة مصححة عمودياً
تصحيح عمودي
تراكب

P

pan	تحوّل
parallel	موازي
parameter	وسيط
parameters	وسطاء
parametric	وسيطي
particular or actual scale	مقياس خاص أو فعلي
passive remote sensing	استشعار سلبي عن بعد
perspective or geometric projection	إسقاط منظوري أو هندسي
photogrammetry	مساحة تصويرية
piecewise affine transformation	تحويل متصل مجزأ
pixel	بكسل
planar projection	إسقاط مستوي
plane	مستو
plane coordinates	إحداثيات مستوية
plane surveying	مساحة مستوية
planimetric	أفقي
plumb line	مطمار أو خيط الشاقول
point cloud	سحابة نقطية
point scale	مقياس النقطة
polar	قطبي
polar aspect	منظر قطبي
Polaris	نجم الجُذَيّ
pole	قطب
polyconic	مخروطي متعدد
polyconic projection	إسقاط مخروطي متعدد
polynomial transformation	تحويل كثير الحدود
position vector transformation	تحويل متجه الموقع
positional	موقعي
positional accuracy	دقة موقعية
post processing	معالجة البيانات لاحقاً
precision	ضبط
prime	رئيسي
Prime Meridian	خط زوال رئيسي
prime vertical	ناظم أعظم
principal scale	مقياس رئيسي
projected	مُنقَط

projected coordinates
 projected coordinate reference system:
 ProjCRS
 projection
 projective
 projective transformation
 propagated
 property
 proprietary
 pseudoazimuthal projection
 pseudoconical projection
 pseudocylindrical projection
 puck

إحداثيات مسقطة
 نظام مرجعي للإحداثيات المسقطة
 إسقاط أو ارتسام أو تسطيح
 إسقاطي
 تحويل إسقاطي
 مُنتَشَر
 خصيصة (مفرد خصائص)
 مملوك
 إسقاط سمّي زائف
 إسقاط مخروطي زائف
 إسقاط أسطواني زائف
 مؤشر

Q

quasi-geoid

شبه جيويدي

R

radian: rad
 radio detection and ranging: RADAR
 radiometer
 radius of curvature
 raster
 raster data
 Real Time Kinematic: RTK
 realization
 receiver
 reduced latitude
 reference point
 reflection
 registry
 relative or internal positional accuracy
 remote sensing: RS
 resampling
 residual or residual error
 return on investment: ROI
 root-mean-square error: RMSE
 rotation

راديان
 رادار
 مقياس إشعاع
 نصف قطر الانحناء
 متسايت
 بيانات متسايتة
 رصد متحرك في الوقت الحقيقي
 تحقيق
 مُستَقْبِل
 زاوية عرض مختصرة
 نقطة مرجعية
 انعكاس
 سجل
 دقة موقعية نسبية أو داخلية
 استشعار عن بعد
 أخذ العينات
 خطأ متبق
 عائد على الاستثمار
 خطأ متوسط التربيع
 تدوير

rotation parameters

وسطاء الدوران

rubbersheeting

تصفيح مطاطي

S

satellite

قمر اصطناعي

satellite laser ranging: SLR

سبر الأقمار الاصطناعية بالليزر

scale factor

عامل الحجم (بين مجسمين)

scale factor: SF

عامل المقياس (في الخريطة)

scanned

ممسوح (ناتج من عملية مسح)

scanning

مسح

sea surface height: SSH

ارتفاع سطح البحر

sea surface topography: SST

طوبوغرافية سطح البحر

secant

قاطع

second

ثانية

service-level agreement: SLA

اتفاقية مستوى الخدمة

seven-parameter method

طريقة الوسطاء السبعة

sexagesimal

ستوني

shearing

انحراف

sidecar file

ملف مرافق

similarity transformation

تحويل التشابه

simple average

متوسط بسيط

small scale

مقياس صغير

smart phone

هاتف ذكي

snap

وثب

source

مصدر

source code

شفرة مصدريّة

spatial

مكاني

spatial accuracy

دقة مكانية

spatial data infrastructure: SDI

البنية التحتية للبيانات المكانية

spatial decision support systems: SDSS

نظام دعم القرار المكاني

spatial or geospatial data

بيانات مكانية أو جيومكانية

spatial reference system identifier: SRID

معرّف النظام المرجعي المكاني

spatial referencing

إسناد مكاني

spatial technologies

تقنيات مكانية

spatially enabled

ممكّن مكانياً

spectral signature

توقيع طيفي

sphere

كرة

spheroid	مجسم كروي
spot heights	نقاط الارتفاعات المدققة
standard deviation: σ	انحراف معياري
standard line	خط قياسي
standard parallel	مواز قياسي
station or control point	محطة أو نقطة تحكم
status bar	شريط الحالة
stereographic projection	إسقاط مجسم
stilling well	بئر ترقيد
surface reconstruction	إعادة إنشاء السطح
surveying	مساحة
system	نظام
T	
tab	لسان التبويب
tablets	جهاز لوحي
tangent	مماس
target	هدف
tectonic plate	صفحة قارية
temporal	زمني
temporal coordinate reference system	نظام مرجعي للإحداثيات الزمانية
ten-parameter method	طريقة الوسطاء العشرة
terrestrial reference frame: TRF	إطار مرجعي أرضي
text markup language	لغة ترميز نصية
thematic map	خريطة موضوعية
theodolite	تيودوليت أو مزواة
three-parameter method	طريقة الوسطاء الثلاثة
tidal gauge or marigraph	مقياس المد والجزر
tile	قطعة مربعة
topographic	طوبوغرافي
topographic surface	سطح طوبوغرافي
topographic surveying	مساحة طوبوغرافية
transformer	محول
translation	انتقال، إزاحة
translation parameters	وسطاء الانتقال
transverse	مستعرض
transverse aspect	منظر مستعرض

traverse station	محطة تضليع
triangulation station	محطة تثليث
tri-axial	ثلاثي محاور
true north	شمال حقيقي
true scale	مقياس صحيح
turn-by-turn	توجيهي
turn-by-turn navigation	ملاحة توجيهية

U

ultra-short	فائق القصير
uncertainty	عدم تيقن
Universal Polar Stereographic: UPS	نظام الإحداثيات الجسّم القطبي العالمي
Universal Transverse Mercator: UTM	ميركاتور المستعرض العالمي
unmanned aerial vehicle: UAV	طائرة بدون طيار

V

vector	مُتَّجِه
vector data	بيانات مُتَّجِهَة
velocity	سرعة
vertical	رأسي
vertical coordinate reference system:	نظام مرجعي للإحداثيات الرأسية
VertCRS	
vertical coordinate system	نظام إحداثيات رأسية
vertical datum	مرجع رأسي
vertical datum separation	فرق المرجع الرأسية
vertical deflection: VD, deflection of vertical -	انحراف الشاقول أو انحراف الرأسية
vertical offset	إزاحة رأسية
very long base-line interferometry: VLBI	تداخل خط الأساس الطويل جداً
viewshed analysis	تحليل الرؤية

W

web coordinate transformation service (WCTS)	خدمة تحويل الإحداثيات على ويب
Web Mercator	ويب ميركاتور
web service	خدمة على ويب
weighted average	متوسط موزون
well-known binary: WKB	هيئة ثنائية معروفة
well-known text: WKT	نص معروف
wi-fi-based positioning	تحديد المواقع المعتمد على نقاط وصول إنترنت لاسلكية

world file

ملف العالم

world geographic reference system: GEOREF

النظام المرجعي الجغرافي العالمي

Z

zone

منطقة

zoom

تقريب/تبعيد

- ASPRS. 1990.** ASPRS Accuracy Standards for Large-Scale Maps. *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing*. March 1990.
- ASPRS. 1983.** *Manual of Remote Sensing*. [ed.] Robert Colwell. 2nd. 1983. Vol. 2. *Determination of a Gravimetric Geoid Solution for Andalusia (South Spain)*.
- Manzano, Francisco, et al. 2010.** 2, s.l. : Engineering, 2010. 1947-394X.
- FGCC. 1984.** *Standards and Specifications for Geodetic Control Networks*. *National Geodetic Survey*. September 1984.
- FGDC. 1998.** Geospatial Positioning Accuracy Standards Part 3: National Standard for Spatial Data Accuracy. 1998.
- EPSG. 2007.** WGS 84. *EPSG Geodetic Parameters Registry*. [Online] August 8, 2007. [Cited: December 3, 2011.] <http://www.epsg-registry.org/>.
- Franklin, Carl and Hane, Paula. 1992.** An introduction to GIS: linking maps to databases. *Database*. April 1992, Vol. 15, 2, pp. 17-22.
- Grant, Donald M. 1999.** Spatial Data Infrastructures: The Vision for the Future and the Role of Government in Underpinning Future Land Administration Systems. *The Permanent Committee on Cadastre in the European Union*. October 1999.
- ICSM. 2009.** Australian Map and Spatial Data Horizontal Accuracy Standard. *Intergovernmental Committee on Surveying and Mapping*. 2009.
- ISO. 2004.** Geographic information – Spatial referencing by coordinates. s.l. : ISO, 2004.
- NASA. 1998.** Tectonic Motion in Europe. NASA, February 26, 1998.
- NIMA. 2000.** Addendum to NIMA TR 8350.2: Implementation of the World Geodetic System 1984 (WGS 84) Reference Frame G1150. *National Geospatial-Intelligence Agency*. 2000.
- Østensen, Olaf. 2001.** The Expanding Agenda of Geographic Information Systems. *ISO Bulletin*. July 2001.
- Roegel, Denis. 2008.** An Extension of Al-Khalili's Qibla Table to the Entire World. *Inria*. August 4, 2008.
- Ryttersgard, Jes. 2001.** Spatial Data Infrastructure – Developing trends and Challenges. *UN Economic Commission for Africa*. September 2001.

Sideris, Michael G. 1994. Geoid Determination by FFT Techniques. Milan : International School for the Determination and Use of the Geoid, 1994.

TeleCommunication Systems. 2010. Location-Based Services: An End-to-End Perspective. 2010.

The Defence Agency. 1983. *Geodesy for The layman*. WASHINGTON D C : The Defence Agency, 1983.

U.S. Bureau of the Budget. 1947. United States National Map Accuracy Standards. *The National Map*. June 17, 1947.

UN. 1994. United Nations Convention on the Law of the Sea. *United Nations Website*. November 16, 1994.

Wieczorek, John, Guo, Qinghua and Hijmans, Robert J. 2004. The Point-Radius Method for Georeferencing Locality Descriptions and Calculating Associated Uncertainty. *International Journal of Geographical Information Science*. December, 2004, Vol. 18, 4.

Williams, Ed. Aviation Formulary V1.46. [Online] [Cited: August 6, 2012.] <http://williams.best.vwh.net/avform.htm>.

الفهرس

متوسط بسيط: 311
 متوسط موزون: 310
 إدارة الأصول: 3
 إدارة القوى العاملة المتنقلة: 4
 إدارة علاقات الزبائن: 4
 أدندان: 86
 ارتباط: 151، 238، 280
 ارتفاع: 4، 13، 21، 27، 29، 32، 54، 57، 59، 69، 71، 73، 74، 93، 95، 96، 120، 121، 122، 123، 124، 127، 130، 131، 132، 133، 134، 135، 138، 139، 141، 143، 144، 145، 218، 219، 246، 249، 250، 251، 253، 255، 263، 269، 295، 296، 297، 298، 299، 300، 310
 ارتفاع الجيوتيد: 130
 ارتفاع إهليلجي: 73، 95، 96، 131، 133، 134، 138، 249، 250، 251، 263، 269، 295، 296، 297
 ارتفاع أورثومتري: 96، 131، 132، 133، 138، 144، 246، 250، 255، 263، 295، 296
 ارتفاع جيوديسي: 73، 75، 95، 96، 131، 132، 133، 246، 250، 255، 295
 ارتفاع سطح البحر: 124
 ارتفاع فوق المجسم الإهليلجي: 95
 ارتفاع فوق المجسم الإهليلجي (انظر ارتفاع إهليلجي): 95
 ارتفاع معتمد على الجاذبية: 96، 132، 295، 297
 تصحيح الارتفاع: 131، 132، 139، 295، 296
 خطوط تساوي الارتفاع: 122
 دقة فرق الارتفاع: 145، 146
 مسار تسوية: XXI، 141، 145، 146
 نقاط الارتفاعات المدققة: 62
 نموذج ارتفاع: 122، 123

أ
 اتجاه
 اتجاه ابتدائي: 172، 173
 اتجاه الشمال (انظر شمال): 21، 159، 164، 165، 175
 اتجاه خلفي: 173
 خط الاتجاه الثابت: 167، 168، 170، 171، 172
 قبلة: 25، 26، 170، 171، 172، 174، 175، 176، 177
 إحداثيات
 إحداثيات أرضية المركز (انظر نظام مرجعي للإحداثيات أرضية المركز): 102، 120، 248، 249، 255، 258، 261، 263
 إحداثيات إهليلجية (انظر نظام مرجعي للإحداثيات الجغرافية): 73
 إحداثيات جغرافية (انظر نظام مرجعي للإحداثيات الجغرافية): 75، 152
 إحداثيات جيوديسية (انظر نظام مرجعي للإحداثيات الجغرافية): 73، 87
 إحداثيات رأسية (انظر نظام مرجعي للإحداثيات الرأسية): 13، 21، 29، 120، 139، 145، 296، 298، 299
 إحداثيات فلكية: 83، 87
 إحداثيات مُسقطة (انظر نظام مرجعي للإحداثيات المسقطة): 151، 160، 163، 192، 193، 197، 205، 206، 233، 254
 إحداثيات هندسية (انظر نظام مرجعي للإحداثيات الهندسية): 74
 أخذ العينات: 234، 236، 242، 276، 278، 284، 309
 التفاف تكعيبي: 309
 الجار الأقرب: 236، 278، 284، 309، 310
 بيانات مصنفة: 309
 طي تكعيبي: 241، 242، 283، 310

192، 193، 197، 205، 206، 222،
233، 246، 254، 326، 347
إسقاط Gauss-Boaga: 202
إسقاط Gauss-Krüger: 201 ، 202
إسقاط Miller الأسطواني: 198
إسقاط أسطواني: 25، 178، 198، 199، 200
إسقاط أسطواني زائف: 178
إسقاط الخريطة: 24، 74، 139، 159، 161،
162، 321
إسقاط المزالة: 193
إسقاط تحليلي: 163، 184، 201، 218
إسقاط سمّي: 26، 159، 172، 178، 179،
180، 186، 187
إسقاط سمّي زائف: 178
إسقاط غير منظوري: 163
إسقاط لامبرت المخروطي المطابق: 195، 196
إسقاط لامبرت المخروطي مُساوي المساحات: 194
إسقاط مجسّم: 187، 188، 189، 192، 193،
213
إسقاط مجسّم سمّي: 187، 188، 193
إسقاط مجسّم قطبي: 213
إسقاط مجسّم مائل: 188، 192
إسقاط مخروطي: 178، 185، 194، 195، 196
إسقاط مخروطي زائف: 178
إسقاط مخروطي متعدد: 178
إسقاط مركزي: 187، 193
إسقاط مُساوي المساحة: 164، 180
إسقاط مُساوي المسافة: 180، 195
إسقاط مستوي: 178، 186
إسقاط مُطابق: 180، 195، 196، 201، 213
إسقاط مُعامد سمّي: 183، 187، 188
إسقاط منظوري: 163، 182، 184، 186، 335
إسقاط ميركاتور: 162، 199، 200، 206،
218، 229
إسقاط هندسي (انظر إسقاط منظوري): 163،
201
خط زوال مركزي: 184، 185، 187، 188،
194، 200، 201، 206، 208
خط قياسي: 180، 182، 194، 198، 208،
321
سطح قابل للنشر: 178

نموذج ارتفاع رقمي: 122، 123، 250، 337
أرتيريا
مرجع جيوديسي
أديندان: 86
إزاحة
إزاحة أفقية: 57
إزاحة جغرافية: 263، 268، 269
إزاحة جغرافية معتمدة على شبكة: 269، 273
إزاحة رأسية: 297، 299
إزاحة رأسية معتمدة على شبكة: 299
إزاحة رأسية معتمدة على معادلة: 297، 299
وصلة إزاحة: 333
استخراج وتحويل وتحميل: XVII، XIX
استشعار عن بعد: 5، 7، 28، 32، 33، 34،
54، 59
أجهزة مزدوجة الشحنة: 32
استشعار سلمي عن بعد: 32، 33
استشعار نشط عن بعد: 33
تصحيح عمودي: 33، 123، 246، 304،
336، 338، 344
تصوير جوي: 304
توقيع طيفي: 32، 303
رادار: 33، 124
صورة جوية: 11، 15، 33، 36، 44، 45، 53،
55، 63، 123، 151، 220، 300، 302،
303، 304، 306، 311، 319، 325،
336، 338، 342، 344
طائرة بدون طيار: 33
لادار: 33
ليدار (انظر ليدار): 33
مساحة تصويرية: 7، 28، 33، 147
استكمال داخلي: 134، 255، 269، 299، 310،
343
استواء
استواء سماوي: 87
دائرة الاستواء: 88، 90، 200
إسقاط
إحداثيات مُسقطة: 144، 150، 151، 152،
159، 160، 162، 163، 184، 189

الإمارات العربية المتحدة: 86، 87، 133، 202،
203، 205، 209، 260، 266، 297، 313،
325
مرجع جيوديسي
نحروان 86: 1967، 163، 233، 260،
276، 291، 294
الأندلس: 37، 135
البحرين: 94، 266
مرجع جيوديسي
عين العبد 86: 1970، 95، 246
الجار الأقرب (انظر أخذ العينات): 236، 278، 284،
309، 310
الجزائر: 39، 86، 195، 196، 197، 266
الجمعية الأمريكية للمساحة التصويرية والاستشعار عن
بعد: 59، 61، 62، 63، 64
الخدمات الدولية لدوران الأرض والأنظمة المرجعية:
105، 106
القطب المرجعي الدولي: 105
خط الزوال المرجعي الدولي: 89، 105
الخليج العربي: 86، 121
الرابطة الدولية لمنتجي النفط والغاز: 46
السعودية: 25، 26، 86، 94، 170، 171، 172،
174، 175، 176، 177، 209، 266، 291
مرجع جيوديسي
عين العبد 86: 1970، 95، 246
نظام مرجعي للإحداثيات الجغرافية
عين العبد: 86، 94، 95، 162، 163،
246، 291، 293، 294
السودان: 11، 12، 86، 266
مرجع جيوديسي
أديندان: 86
الصومال: 86، 209، 266، 279
مرجع جيوديسي
أفجوي: 86، 163، 279، 285، 287،
288
العراق: 86، 121، 224، 266
مرجع جيوديسي
كربلاء 86: 1979، 163

شبكة إسقاط الخريطة: 184
علاقة عكسية: 172، 182، 190، 196، 203،
210، 233، 254
علاقة مباشرة: 182، 183، 190، 196، 203،
210
ميركاتور المستعرض: 162، 163، 184، 185،
200، 201، 202، 203، 206، 209،
210، 225، 230، 232
ميركاتور المستعرض العالمي: 99، 162، 163،
184، 206، 207، 208، 209، 210،
211، 212، 213، 233، 234، 235،
237، 238، 239، 240، 242، 317
ويب ميركاتور: 217، 218، 219
إسناد
إسناد جغرافي: 15، 63، 151، 156، 234،
276، 300، 303، 306، 311، 312،
314، 319، 325، 326، 327، 336،
342، 343، 344
إسناد طولي: 39
إسناد مكاني: 1، 37، 38، 39، 42، 43، 299
مُسند جغرافياً: 234، 276
إطار مرجعي أرضي: 141
إطار مرجعي أرضي دولي: 82، 89، 103، 104،
105، 144، 149، 165
ITRF2000: 82، 104
ITRF2005: 104، 105
ITRF91: 82
ITRF94: 82
ITRF96: 149
القطب المرجعي الدولي: 105
تحقيق: 103، 141
خط الزوال المرجعي الدولي: 89، 105
أفجوي: 86، 163، 279، 285، 287، 288
الاتحاد الجيومكاني المفتوح: 8، 41، 48، 50
الاتحاد العالمي للجيوديسيا والجيوفيزياء: 105
الإدارة الوطنية للمحيطات والغلاف الجوي: 270
الأردن: 86، 266
مرجع جيوديسي
فلسطين 86: 1923

اليمن
مرجع جيوديسي
شبكة اليمن الجيوديسية الوطنية 102: 1996
انحراف
انحراف الراسي (انظر انحراف الشاقول): 97
انحراف الشاقول: 83، 87، 97
انحراف معياري: 134
انحراف مغناطيسي: 165، 200

ب

بكسل: 11، 151، 218، 219، 220، 309، 343
بنية تحتية للبيانات المكانية: 62
بيانات
بيانات الأعماق (انظر قياس الأعماق): 122،
123
بيانات غير مكانية: 9، 10، 37
بيانات مُشجَّهة: 11
بيانات مُتسامية: 11، 150، 151، 234، 276
بيانات مكانية: XIII، XIV، XVII، XVIII، XIX،
1، 3، 5، 6، 7، 8، 9، 10، 11، 12، 14،
16، 17، 19، 22، 23، 26، 27، 29،
34، 35، 36، 37، 38، 44، 45، 49،
50، 52، 53، 54، 55، 56، 58، 59،
60، 63، 65، 66، 74، 93، 100، 106،
107، 119، 120، 137، 138، 149،
150، 151، 152، 153، 155،
163، 156، 210، 214، 222، 232،
233، 234، 236، 240، 241، 245،
246، 251، 252، 253، 254، 272،
274، 276، 277، 279، 282، 283،
285، 292، 300، 301، 302، 304،
311، 321، 331
بيانات ممسوحة: 11، 55، 151، 246، 300،
342
قاعدة بيانات جيومكانية: 236، 278
ما وراء البيانات: XVIII، 45، 46، 65، 142،
155، 239، 282، 307، 347
ISO 19115: 46
ISO 19139: 46
بشر ترقيده: 125

نهر وان 86: 1967، 163، 233، 260،
276، 291، 294
مرجع راسي
الفاو 121: 1979
الكويت: 18، 19، 86، 94، 209، 266
مرجع جيوديسي
شركة نفط الكويت: 86
عين العبد 86: 1970، 95، 246
نهر وان 86: 1967، 163، 233، 260،
276، 291، 294
مرجع راسي
KOC CD Height: 298
KOC WD Depth: 298
نظام مرجعي للإحداثيات الجغرافية
شركة نفط الكويت: 298
اللجنة الاتحادية للبيانات الجغرافية: 62، 147
اللجنة الحكومية للمساحة وإعداد الخرائط: 66
المغرب: 86، 266
مرجع جيوديسي
مرشيش: 85، 86، 266
المنظمة الدولية للمواصفات القياسية: 7، 8، 13، 22،
41، 42، 43، 44، 45، 46، 48، 56، 83،
120، 260
المواصفات القياسية الوطنية لدقة الخرائط في الولايات
المتحدة: 56، 58، 59، 64
المواصفات الوطنية لدقة البيانات المكانية: 62، 63، 67
المؤسسة الجيومكانية للمصادر المفتوحة: 41، 52، 53
النظام الجيوديسي العالمي 19 (WGS 84): 21، 47،
48، 49، 50، 51، 77، 78، 81، 82، 83،
87، 92، 95، 96، 102، 105، 129، 130،
133، 162، 163، 169، 170، 174، 177،
202، 203، 205، 209، 210، 212، 215،
225، 226، 229، 230، 231، 232، 233،
234، 235، 237، 238، 239، 240، 242،
245، 246، 249، 250، 254، 258، 260،
261، 262، 265، 266، 267، 274، 276،
279، 280، 281، 282، 284، 285، 287،
288، 289، 290، 291، 293، 294، 297،
313، 325

ج

- جاذبية: 21، 71، 73، 96، 127، 128، 129،
135، 146، 147، 299
ارتفاع معتمد على الجاذبية: 96، 132، 295،
297
أرصاء الجاذبية: 133، 134، 135، 137
دقة الجاذبية: 146، 147
شدوذ الجاذبية: 128، 135، 136
محطة جاذبية: 142، 146
مقياس الجاذبية: 135
نظام إحداثيات معتمدة على الجاذبية: 73، 298
شركة نفط الكويت: 298
نموذج جاذبية الأرض: 81، 1996، 129، 132،
133، 296، 297
نموذج جاذبية الأرض: 129، 2008، 130
جلوناس: 6، 30، 78
جهاز لوحى: 4
جيوبوتى: 86
جيوديسيا: XIV، 7، 46، 47، 103، 162، 295
ارتفاع جيوديسي (انظر ارتفاع): 73، 75، 95،
96، 131، 132، 133، 246، 250، 255،
295
الاتحاد العالمى للجيوديسيا والجيوفيزياء: 105
جيوديسيا فضائية: 103
شبكة جيوديسية (انظر شبكة): 27، 54، 63،
69، 76، 83، 103، 126، 134، 141،
142، 143، 144، 145، 147، 148،
256
شمال جيوديسي (انظر شمال): 164
طول جيوديسي (انظر طول): 75
عرض جيوديسي (انظر عرض): 75
قوس جيوديسي: 166، 167، 168، 193
مرجع جيوديسي (انظر مرجع): 54، 75، 76،
81، 82، 83، 85، 86، 87، 92، 95،
96، 102، 105، 112، 113، 115، 117،
129، 130، 141، 162، 163، 195،
212، 231، 233، 234، 241، 246،
247، 249، 250، 261، 265، 266،
287، 290، 300
مساحة جيوديسية: 27

ت

- تباعد مركزي (انظر محسم إهليلجى): 78
تثليث: 142، 147
تثليث بالأضلاع: 29
تثليث بالقطع الزائد: 31
تثليث ديلوني: 345
محطة تثليث: 142
تجزئة الخريطة: 217، 218، 219، 220
قطعة مربعة: 217، 218، 220، 311
تحوال: 217
تحليل الرؤية: 123
تداخل خط الأساس الطويل جداً: 104
تذبذب الجيوتيد (انظر تموج الجيوتيد): 130
ترقيم: 22، 36، 37، 55، 67، 212، 220، 320،
323، 335
ترقيم قائم: 36
لوح ترقيم: 36
مُرَقَم: 36
ترميز جغرافى: 38، 40، 97
تسويق جيومكانى: 4
تصحيح عمودي (انظر استشعار عن بعد): 123
تصحيح مطاطى (انظر عمليات على الإحداثيات):
331، 332، 333، 334، 343
تصميم بالحاسوب: CAD، XVII، XVIII، 6،
34، 35، 36، 37، 74، 246، 331
تقريب/تباعد: 36، 55، 217
تونس: 86، 100، 250، 266
مرجع جيوديسي
قرطاج: 86
تيودوليت (انظر مزواة): 142

ث

- ثابت ومتمركز مع الأرض: 102
ثانية قوسية: 90

خريطة

خريطة موضوعية: 164
دقة الخريطة (انظر دقة موقعية): 59
شبكة إسقاط الخريطة: 184
مقياس خريطة: 54، 55، 56، 58، 60، 61،
164، 180، 181، 182، 218، 219
ملف خريطة: 106، 107، 108، 109، 119،
150، 153، 154، 222، 223، 224
232، 237، 238، 280، 313

خطاً

انحراف معياري: 60، 134، 145، 146
خطاً أفقي: 57، 64، 67
خطاً دائري: 64، 65، 67
خطاً رأسي: 57، 65
خطاً متبق: 305، 306، 307، 318، 344
خطاً متوسط التوزيع: 59، 60، 63، 149، 305،
306، 307، 315، 318، 344
سوية ثقة: 56، 58، 63، 64، 65، 66، 67،
147
عدم تيقن: 20، 92
خطوط تساوي الارتفاع: 122
خلية (انظر بكسل): 234، 236، 255، 269،
270، 276، 278، 299، 309، 310، 311،
344
خلية الشبكة: 309
خيط الشاقول: 127

د

دائرة

دائرة عظمى (انظر مسافة): 166، 168، 169،
170، 171، 172
درجة: 49، 81، 90، 91، 95، 117، 140، 188،
195، 202، 209، 230
الدرجة الدقيقة الثانية: 91، 169

دقة

دقة الجاذبية (انظر جاذبية): 146، 147
دقة الخريطة: 54، 56، 57، 59، 62
دقة الشبكة الجيوديسية: 147
دقة المسافة: 145

مسافة جيوديسية: 169

نظام إحداثيات جيوديسية: 73، 87
نظام إحداثيات جيوديسية (انظر نظام إحداثيات):
73، 87
نظام مرجعي للإحداثيات الجيوديسية (انظر نظام
إحداثيات مرجعي): 74
هيئة المساحة الجيوديسية الوطنية الأمريكية: 269،
299

وسيط جيوديسي (انظر وسيط): 47

جيوتيد: 71، 72، 76، 77، 81، 82، 84، 85،
96، 97، 121، 122، 124، 127، 128،
129، 130، 131، 139، 295، 297
ارتفاع الجيوتيد (انظر تموج الجيوتيد): 130
ارتفاع أورثومتري: 133، 296
المرجع الرأسي الجيوتيدي: 121
تموج الجيوتيد: XXI، 71، 84، 85، 128، 129،
130، 131، 133، 134، 135، 136،
139، 295، 297
تموج الجيوتيد بالنسبة إلى نظام تحديد المواقع
العالمي/التسوية: 134
جيوتيد محلي: 133، 134، 135، 137، 143
حاسبة الجيوتيد: 133، 297
شبه جيوتيد: 137
طريقة هندسية: 188
فرق الجيوتيد: 130
نموذج EIGEN-GL04C: 135
نموذج الجاذبية: 81، 295
نموذج الجيوتيد: 81، 129، 131، 132، 133،
134، 135، 250، 296
نموذج جاذبية الأرض: 81: 1996، 129، 132،
133، 296، 297
نموذج جاذبية الأرض: 129: 2008، 130
نموذج محلي للجيوتيد: 82، 85

ح

حلف شمال الأطلسي: 210

خ

خدمات معتمدة على الموقع: 4

خط زوال رئيسي: 73، 75، 89، 101، 110،
117، 169، 170، 202، 225، 256
خط زوال مركزي: 184، 185، 187، 188،
194، 200، 201، 206، 208
مستوي زوال: 87

س

سير الأقمار الاصطناعية بالليزر: 104
سير القمر بالليزر: 104
سحابة نقطية (انظر ليدار): 34
سرعة: 20، 103
سطح
سطح طوبوغرافي: 71، 95، 128
سطح متساوي الكمون: 121، 127
نموذج سطح رقمي: 34، 123
سنت: 83، 85، 166
إسقاط سميتي (انظر إسقاط): 26، 172، 178،
179، 180، 186
سمت الرأس: 87
علامة سمت (انظر شبكة جيوديسية): 142
سوريا: 86، 91، 188، 266، 274، 275
مرجع جيوديسي
دير الزور: 85، 188، 189، 192، 274

ش

شبكة
شبكة إسقاط الخريطة: 184
شبكة خطوط العرض والطول: 89، 184
شبكة كارتوغرافية: 164، 165، 183
منطقة الشبكة: 211، 212، 213
نظام مرجعي للشبكة العسكرية (انظر نظام مرجعي
للشبكة العسكرية): 99، 208، 210، 211،
212، 213، 214، 215، 216، 217
شبكة اليمن الجيوديسية الوطنية 102: 1996

دقة فرق الارتفاع: 145، 146
دقة موقعية: 15، 22، 23، 30، 39، 44، 45،
54، 55، 56، 58، 62، 63، 92
دقة موقعية خارجية: 44
دقة موقعية داخلية: 44
دقة موقعية للبيانات الشبكية: 44، 45
دقة موقعية مطلقة: 44، 45
دقة موقعية نسبية: 44، 45
دقة موقعية أفقية: 22، 54، 56، 58، 60، 61،
62، 63، 64، 65، 66، 67، 145، 147
دقة موقعية رأسية: 57، 58، 62، 65، 66،
145، 147
دقيقة: 57، 99، 123
درجة دقيقة ثانية: 91، 92، 169
دقيقة قوسية: 90
دورة ميتونية: 21، 125
دير الزور: 86

ذ

ذكاء الأعمال: 4

ر

راديان: 90، 92، 204
رسم: XVIII، 54، 55، 56، 59، 318، 319
رسوم التصميم النهائي: 34
رسوم طبق التنفيذ: 34
ملف الرسم: 318، 319
رسم المدارات والتحديد الراديوي للمواقع بدو بلر المدججة
في القمر الاصطناعي: 104
رصد متحرك في الوقت الحقيقي: 22، 30، 55

ز

زوال

خط الزوال المرجعي الدولي: 89، 105
خط زوال: XXII، 48، 73، 75، 79، 80، 89،
105، 117، 190، 199، 200، 201،
206، 207، 208، 225، 256، 265

ض

ضبط: 92

ط

طائرة بدون طيار: 33

طبوغرافيا: 121، 122

خريطة طبوغرافية: 127، 141، 180، 200،

208

سطح طبوغرافي: 71، 95، 128، 336

طبوغرافية سطح البحر: 124

مساحة طبوغرافية: 27، 28

طول: XXI، 20، 39، 40، 88، 94، 96، 141،

145، 146، 165، 166، 167، 168، 169،

170، 172، 181، 182، 185، 187، 194،

195، 198، 201، 202، 207، 316، 322،

335

خط طول: 37، 73، 75، 89، 97، 98، 99،

114، 116، 129، 131، 165، 167،

193، 194، 198، 199، 200، 202

زاوية طول المبدأ الطبيعي (انظر إسقاط): 184،

230

شبكة خطوط العرض والطول: 89، 184

طول إهليلجي (انظر مجسم إهليلجي): 73

طول جيوديسي: 139

طول فلكي: 87

طبيّ تكعيبي (انظر أخذ العينات): 241، 242، 283،

310

ع

عائد على الاستثمار: 3

عدم تيقن (انظر دقة وخطأ): 20

عرض

خط عرض: 37، 39، 73، 88، 89، 90، 92،

93، 98، 131، 184، 194، 195، 218،

219

خط عرض إهليلجي (انظر مجسم إهليلجي): 73

خط عرض جيوديسي: 73

دائرة العرض المركزية (انظر إسقاط): 184

شبكة جيوديسية: 27، 54، 63، 69، 76، 83،

103، 126، 134، 141، 142، 143، 144،

145، 147، 148، 246، 256

دقة الشبكة الجيوديسية: 147

شبكة جيوديسية وطنية: 27، 69، 83، 103،

126، 134، 141، 142، 144، 145،

148، 246، 256

علامة تحكم: 142

محطة جاذبية: 142، 146

مسار تسوية: XXI، 141، 145، 146

نقطة تحكم: 31، 103، 104، 105، 142،

144، 256، 331

شبه جيوتيد (انظر جيوتيد): 137

شدود الجاذبية (انظر جاذبية): 128، 135، 136

شرقيات: 27، 139، 144، 184، 191، 206،

208، 212

شرقيات زائفة: 184، 206، 231

شركة نفط الكويت: 86

شمال

شمال تريبي: 165

شمال جيوديسي: 164

شمال حقيقي: 21، 164، 165، 175

شمال مغناطيسي: 21، 165

نجم الشمال: 103

شماليات: 27، 139، 144، 184، 191، 208،

209، 212، 231

شماليات زائفة: 184، 231

شهادة عدم ممانعة: 16

ص

صفحة قارية: 20، 21، 81، 103، 105، 106

صورة حوية: 11، 15، 33، 36، 44، 45، 53،

55، 63، 123، 151، 220، 300، 302،

303، 304، 306، 311، 319، 325، 336،

338، 342، 344

صورة مصححة عمودياً: 33، 123، 246، 304،

336، 338، 344

283، 288، 290، 300، 315، 317، 321، 340
 تحويل التشابه: 245، 315، 316، 317، 318، 319، 320، 323، 332، 335
 تحويل دوراني لإطار الإحداثيات: 260
 تحويل كثير الحدود: 245، 263، 307، 322، 323، 333، 336، 337، 338، 341، 342، 344، 346
 تحويل مُتجه الموقع: 259، 260
 تحويل مُتصل: 238، 245، 281، 307، 312، 314، 320، 321، 322، 323، 324، 325، 327، 329، 330، 331، 343، 346
 تحويل متصل مجزأ: 331
 تحويل مُتصل هندسي: 322، 323، 329
 تحويل مُتصل وسيطي: 321
 تحويل مُطابق: 315
 تحويل معتمد على شبكة: 255، 256، 263، 269، 272، 299
 تحويل معتمد على معادلة: 255، 256، 269، 270، 274، 299
 تصحيح الارتفاع: 131، 132، 139، 295، 296
 تصفيح مطاطي: 238، 281، 331، 332، 333، 334، 343
 تغيير الإحداثيات: XXII، 74، 120، 215، 233، 245، 246، 247، 248، 250، 251، 252، 255
 طريقة Bursa-Wolf: 258
 طريقة Molodensky: 256، 257، 261، 262، 263، 264، 265، 268، 275، 285، 287، 288، 289
 طريقة Molodensky المختصرة: 257، 263، 264، 265، 268، 275، 285، 288، 289
 طريقة الوسطاء الثلاثة: 256، 257، 267، 268، 275
 طريقة الوسطاء السبعة: 258، 259، 260، 261، 275
 طريقة الوسطاء العشرة: 261، 262
 عملية متسلسلة: 247، 291، 293

زاوية عرض المبدأ الطبيعي (انظر إسقاط): 184، 230
 زاوية عرض فلكي: 87
 شبكة خطوط العرض والطول: 89، 184
 عرض جيوديسي: 139
 نطاق عرضي (انظر نظام مرجعي للشبكة العسكرية): 211
 علاقة عكسية (انظر إسقاط): 172، 182، 190، 196، 203، 210، 233، 254
 علاقة مباشرة (انظر إسقاط): 182، 183، 190، 196، 203، 210
 علامة تحكم (انظر شبكة جيوديسية): 142
 عُمان: 86، 139، 140، 209، 266، 276
 جزيرة مصيرة: 266، 276
 مرجع جيوديسي
 فهود: 86، 139، 163
 مرجع تنمية نفط عمان المساحي 140: 1993، 141، 163
 مرجع رأسي
 مرجع فهود للارتفاعات: 139
 عمق: 69، 73، 74، 120، 121، 122، 138، 139، 295، 297، 298
 المرجع الرأسي للعمق: 121
 بيانات الأعماق: 122، 123
 عمق إهليلجي: 295
 عمق باثيمتري: 122
 قياس الأعماق: 122
 مخطط الأعماق: 122
 عمليات على الإحداثيات
 إزاحة جغرافية: 263، 268، 269
 إزاحة رأسية: 297، 299
 انتقال أرضي المركز: 256، 265، 274، 275، 290
 تحويل إسقاطي: 335، 336، 343، 346
 تحويل الإحداثيات: 46، 47، 48، 50، 51، 52، 85، 102، 105، 107، 119، 120، 132، 139، 159، 161، 162، 233، 234، 241، 245، 246، 247، 250، 254، 255، 257، 258، 260، 262، 263، 267، 268، 269، 274، 275

عين العبد: 86، 94، 95، 162، 163، 246.
291، 293، 294

عين العبد: 86، 1970، 95، 246

غ

غرينيتش: 48، 89، 207، 256
غلاف محدب: 345

ف

فرق الارتفاع: 145، 146

فرق الجيوديد: 130

فرق المرجع الرأسي: 121، 122

فلسطين: 86، 266

مرجع جيوديسي

فلسطين: 86، 1923

فهود: 86، 139، 163

ق

قابلية التشغيل المتبادل: XIX، 21

قاعدة بيانات: 48، EPSG، 80، 81، 85، 90، 96،

97، 106، 137، 188، 190، 195، 196،

202، 203، 209، 221، 247، 250، 256،

258، 259، 260، 262، 264، 267، 268،

269، 270، 274، 277، 285، 288، 290،

295، 299، 315، 317، 321، 325، 337،

340، 341

قبلة (انظر اتجاه): 25، 26، 170، 171، 172،

174، 175، 176، 177

قرطاج: 86

قطب: 21، 71، 76، 79، 87، 88، 89، 90،

125، 165، 169، 170، 198، 200، 218

قطب سماوي: 87

قطب مرجعي دولي: 105

قطر: XXI، 70، 79، 80، 86، 109، 110، 167،

190، 209، 218، 265، 266

مرجع جيوديسي

قطر: 86، 1948

قطر: 86، 1974

مرجع قطر الوطني: 86، 1995

نهر وان: 86، 1967، 163، 233، 260،

276، 291، 294

قمر اصطناعي: 6، 11، 15، 29، 30، 53، 55،

63، 70، 77، 81، 87، 104، 129، 143،

147، 151، 217، 220، 246، 300، 303،

304، 311، 325، 338، 342، 344، 347

النظام العالمي للملاحة بالأقمار الاصطناعية: XIII،

6، 7، 22، 28، 29، 30، 31

قياس الأعماق: 122

بيانات الأعماق: 122، 123

مخطط الأعماق: 122

ك

كارتوغرافيا

شبكة كارتوغرافية: 164، 165، 183

كربلاء: 86، 1979، 163

كرة: 71، 73، 75، 76، 79، 80، 94، 166،

167، 176، 180، 185، 190، 200، 201،

218

كرة مُساوية المساحة: 80

كرة مُطابقة: 80، 190، 192

نصف الكرة: 91، 183، 188، 193، 208،

209

كعبة: 26، 170، 172، 173، 174، 225، 229،

230، 231، 232

كومباس: 30

ل

لبنان: 86، 266

مرجع جيوديسي

دير الزور: 86

لجنة التحكم الجيوديسي الاتحادية: 144

لحظياً: 107، 119، 150، 222، 233

ليبيا: 39، 86

مرجع جيوديسي

المرجع الجيوديسي الليبي: 86، 2006

طول إهليلجي (انظر طول): 73
 كراسوفكي 78: 1940، 86، 279
 كلارك 78: 1866
 كلارك 78: 1880، 85، 86، 140، 188،
 189، 195، 260، 274، 276
 لا مركزية أو تباعد مركزي: 78
 مجسم إهليلجي ثلاثي محاور: 76
 مجسم إهليلجي مفلطح: 76
 مجسم كروي: 76
 نصف قطر الانحناء: XXII، 79، 80، 190،
 248، 265
 نظام إحداثيات إهليلجي: 73
 هيلمرت 78: 1906، 86، 257، 267
 مجسم كروي (انظر مجسم إهليلجي): 76
 مجموعة المساحة النفعلية الأوربية: 41، 46، 47، 48،
 49، 50، 51، 77، 78، 85، 86، 90، 91،
 95، 102، 105، 118، 121، 140، 188،
 195، 202، 209، 232، 247، 257، 264،
 274، 291، 317، 340
 محطة
 محطة إرشاد: 32
 محطة تنليث: 142
 محطة تضليع: 142
 محطة جاذبية: 142
 محوّل: 49، 156، 216، 217، 241، 242، 253،
 283، 284، 294، 296، 329، 333
 محوّل مخصّص: 294
 مخطط الأعماق (انظر عمق): 122
 مخطط هيدروغرافي: 122
 مد وجزر
 أدنى جزر فلكي: 121
 مقياس المد والجزر: 21، 125، 126
 مربعات المائة كيلومتر (انظر نظام مرجعي للشبكة
 العسكرية): 211، 212
 مرجع
 أصل المرجع: XXII، 83، 84، 85، 261، 262
 مرجع جيوديسي: 46، 48، 54، 73، 74، 75،
 76، 81، 82، 83، 85، 86، 87، 92،
 94، 95، 96، 100، 102، 104، 105،
 112، 113، 115، 117، 129، 130

ليدار

إعادة إنشاء السطح: 34
 سحابة نقطية: 34

م

ما وراء البيانات: XVIII، 45، 46، 65، 142، 155،
 239، 282، 307، 347
 ISO 19115: 46
 ISO 19139: 46
 مبدأ طبيعي: 184
 زاوية طول المبدأ الطبيعي: 165، 184، 230
 زاوية عرض المبدأ الطبيعي: 184، 230
 متجه تحكم: 330
 متوسط منسوب البحر: 13، 21، 27، 29، 69،
 71، 96، 120، 121، 124، 125، 126،
 127، 128، 131، 133، 134، 139، 141،
 143، 145
 أدنى جزر فلكي: 121
 ارتفاع أورثومتري (انظر ارتفاع): 96، 131، 132،
 250، 263
 ارتفاع سطح البحر: 124
 بحر ترقيد: 125
 دورة ميتونية: 21، 125
 طوبوغرافية سطح البحر: 124
 مجسم أرضي (انظر جيونيد): 71
 مجسم إهليلجي: 46، 48، 49، 51، 71، 76، 77،
 78، 80، 81، 82، 85، 94، 95، 102،
 105، 111، 118، 130، 140، 174، 188،
 190، 195، 201، 202، 209، 229، 232،
 248، 249
 Airy 1830: 78
 PZ-90: 78
 ارتفاع إهليلجي (انظر ارتفاع): 73، 95، 96،
 131، 133، 134، 250، 251، 263،
 295، 296، 297
 ارتفاع فوق المجسم الإهليلجي: 95
 إفريست 78: 1830
 المجسم الإهليلجي الدولي 78: 1924، 80، 86،
 94، 95، 262
 بيسل 78: 1841

الفاء: 121: 1979
 المرجع الرأسي للعمق: 121
 فرق المرجع الرأسي: 121، 122
 مرجع رأسي بارومتري: 121
 مرجع رأسي جيوتيدي: 121
 مرجع فهود الرأسي: 139
 مرجع فهود للارتفاعات: 139
 مرشيش: 85، 86
 مساحة: 28، 77، 80، 180، 187، 309، 331
 مساحة بالقصور الذاتي: 147
 مساحة بحرية: 28، 122
 مساحة تصويرية: 7، 28، 33، 54، 59، 147
 مساحة تفصيلية: 27
 مساحة جيوديسية: 27
 مساحة طوبوغرافية: 27، 28
 مساحة عقارية: 27
 مساحة مائية: 28، 122
 مساحة مستوية: 27
 مساحة هندسية: 28
 مسار أقصر (انظر مسافة): 166، 167، 171، 200
 مسار تسوية (انظر شبكة جيوديسية): XXI، 145،
 146
 مسافة
 دائرة عظمى: 166، 168، 169، 170، 171،
 172
 دقة المسافة: 145
 قوس جيوديسي: 166، 167، 168، 193
 مسار أقصر: 159، 166، 167، 170، 171،
 176، 186، 199، 200
 مسافة جيوديسية: 169
 مسح: 15
 مصر: 19، 37، 86، 151، 211، 212، 213،
 257، 258، 266، 267، 288، 290
 مرجع جيوديسي
 مصر: 19: 1907، 86، 151، 152، 154،
 155، 156، 257، 258، 267، 288،
 289، 290، 291
 مصر: 86: 1930
 معادلة لابلاس: 84
 معالجة البيانات لاحقاً: 30

141، 162، 163، 189، 195، 212،
 227، 231، 233، 234، 241، 246،
 247، 249، 250، 261، 265، 266،
 269، 270، 271، 272، 276، 280،
 287، 288، 290، 292، 300
 WGS 72BE: 163
 أدندان: 86
 أفجويي: 86، 163، 279، 285، 287،
 288
 المرجع الجيوديسي الليبي: 86: 2006
 دير الزور: 86
 شبكة اليمن الجيوديسية الوطنية: 102: 1996
 شركة نفط الكويت: 86
 شركة نفط الكويت: 86
 عين العبد: 86: 1970، 95، 246
 فلسطين: 86: 1923
 فهود: 86، 139، 163
 قرطاج: 86
 قطر: 86: 1948
 قطر: 86: 1974
 كربلاء: 86: 1979، 163
 مرجع تنمية نفط عمان المساحي: 140: 1993،
 141، 163
 مرجع قطر الوطني: 86: 1995
 مرشيش: 85، 86
 مصر: 19: 1907، 86، 151، 152، 154،
 155، 156، 257، 258، 267، 288،
 289، 290، 291
 مصر: 86: 1930
 موريتانيا: 86: 1999
 نقطة إرساء المرجع: 83، 84
 نقطة أولية: 83
 نغروان: 86: 1967، 163، 233، 260،
 276، 291، 294
 مرجع جيوديسي محلي: 81، 82، 83، 85، 86،
 246، 261، 266، 275
 مرجع رأسي: 71، 72، 73، 120، 121، 126،
 127، 132، 138، 139، 140، 255،
 269، 295، 299، 300
 KOC CD Height: 298
 KOC WD Depth: 298

ملف مساعد: 153، 236، 278
منظر
منظر استوائي: 179
منظر قائم: 178، 179، 187، 188، 194،
198، 200، 312، 314
منظر قطبي: 179
منظر مائل: 178، 188، 190
منظر مستعرض: 178، 179، 188
موازين قياسي: 185، 194، 195، 196، 198، 208
مواصفات قياسية
ISO: 7، 8، 13، 22، 41، 42، 43، 44، 45،
46، 48، 56، 83، 120، 260
ISO 19111: 8
260
ISO 19112: 43
ISO 19113: 8، 44، 45، 56
ISO 19114: 45
ISO 19115: 45، 46
ISO 19139: 46
ISO 6709: 44
MetaCRS: 53
PROJ.4: 53
الاتحاد الجيومكاني المفتوح: 8، 41، 48، 50
الرابطه الدولية لمنتجي النفط والغاز: 46
اللجنة الاتحادية للبيانات الجغرافية: 62، 147
اللجنة الحكومية للمساحة وإعداد الخرائط: 66
المواصفات القياسية الوطنية لدقة الخرائط في الولايات
المتحدة: 56، 58، 59، 64
المواصفات الوطنية لدقة البيانات المكانية: 62، 63،
67
المؤسسة الجيومكانية للمصادر المفتوحة: 41، 52،
53
لجنة التحكم الجيوديسي الاتحادية: 144
مجموعة المساحة النفطية الأوربية: 41، 46، 47،
48، 49، 50، 51، 77، 78، 85، 86،
90، 91، 95، 102، 105، 118، 121،
140، 188، 195، 202، 209، 232،
247، 257، 264، 274، 291، 317،
340
موريتانيا: 86
مرجع جيوديسي

معالجة جغرافية: XVIII، 214
معايرة: 36
معجم جغرافي: 39، 43
معرّف النظام المرجعي المكاني: 49، 50، 51، 155،
231، 240، 282، 325، 326، 347
معرّف جغرافي: 37، 38، 39، 43
مغناطيس
انحراف مغناطيسي: 165، 200
شمال مغناطيسي: 21، 165
مقياس
خط قياسي (انظر إسقاط): 180، 182، 194،
198، 208، 321
عامل مقياس: XXII، 181، 182، 185، 225
مقياس الخريطة: 44، 54، 55، 56، 57، 58،
60، 61، 164، 180، 181، 182، 218،
219
مقياس النقطة: 181، 321، 322
مقياس خاص: 181
مقياس رئيسي: 181، 182
مقياس صحيح: 181، 321
مقياس صغير: 23، 55، 79
مقياس فعلي: 181، 182
مقياس كبير: 55، 59، 180، 200
مقياس إشعاع: 32
مقياس الجاذبية (انظر جاذبية): 135
مقياس المد والجزر: 21، 125، 126
ملاحظة (انظر أيضاً النظام العالمي للملاحة بالأقمار
الاصطناعية): XIII، 2، 81، 199، 200
ملاحة بحرية: 28، 29، 122
ملاحة توجيهية: 4
ملاحة جوية: 97
ملف
ملف الخريطة: 107، 119، 150، 154، 222،
232، 237، 280
ملف الرسم: 318، 319
ملف العالم: 151، 153، 234، 236، 237،
238، 239، 276، 278، 280، 281،
311، 312، 313، 314، 315
ملف مرافق: 312

عين العبد: 86، 94، 95، 162، 163،
246، 291، 293، 294
نظام مرجعي للإحداثيات الجيوديسية: 74، 120
نظام مرجعي للإحداثيات الرأسية: 74، 120،
121، 137، 138، 140، 141، 250،
269، 295
نظام مرجعي للإحداثيات الزمانية: 74
نظام مرجعي للإحداثيات المركبة: 74، 139، 140
نظام مرجعي للإحداثيات المُسقطة: 74، 99،
114، 116، 139، 150، 161، 162،
163، 164، 168، 188، 189، 195،
202، 206، 208، 209، 221، 222،
223، 224، 225، 226، 228، 229،
231، 232، 233، 234، 235، 246،
254، 274، 300، 317، 321، 326
نظام المعلومات الجغرافية: XIII، XVII، XVIII، 5، 7،
8، 36، 37، 55، 69، 93، 106، 137،
139، 149، 150، 151، 159، 162، 210،
221، 239، 274، 276، 281، 309، 311،
331، 332، 338
بنية تحتية للبيانات المكانية: 62
بيانات جيومكانية: 8
بيانات مكانية: XIII، XIV، XVII، XVIII، XIX،
1، 3، 5، 6، 7، 8، 9، 10، 11، 12، 14،
16، 17، 19، 22، 23، 26، 27، 29،
34، 35، 36، 37، 38، 44، 45، 49،
50، 52، 53، 54، 55، 56، 58، 59،
60، 63، 65، 66، 74، 93، 100، 106،
107، 119، 120، 137، 138، 149،
150، 151، 152، 153، 155،
163، 156، 210، 214، 222، 232،
233، 234، 236، 240، 241، 245،
246، 251، 252، 253، 254، 272،
274، 276، 277، 279، 282، 283،
285، 292، 300، 301، 302، 304،
311، 321، 331
تحليل الرؤية: 123
تقنيات جيومكانية: 2
تقنيات مكانية: XIII، XIV، XIX، 1، 2، 3، 4،
5، 6، 7، 10، 12، 14، 17، 55، 104،
144، 245، 254، 304

موريتانيا: 86: 1999

مولودينسكي

طريقة Molodensky: 257، 261، 262،
263، 264، 265، 268، 275، 285،
287، 288، 289
طريقة Molodensky المختصرة: 257، 264،
265، 268، 275، 285، 288، 289
ميركاتور المستعرض العالمي (انظر إسقاط): 162،
163، 184، 206
ميقاوية بحرية: 200

ن

ناظم أعظم: 79، 80، 190، 248، 265
نص معروف: 48، 49، 50، 51، 76، 77، 80،
81، 94، 102، 105، 111، 118، 121،
140، 188، 192، 195، 197، 202، 209،
229
نصف قطر الانحناء: XXII، 79، 80، 190، 248،
265
نطاق عرضي (انظر نظام مرجعي للشبكة العسكرية):
211
نظام إحداثيات: 43، 73، 100، 108، 120،
223، 227، 238، 280
نظام إحداثيات جيوديسية: 73، 75، 87
نظام إحداثيات ديكرتية: 73، 75، 100، 102،
202
نظام إحداثيات رأسية: 72، 73، 120، 138
نظام إحداثيات معتمدة على الجاذبية: 73
نظام الإحداثيات الجسم القطبي العالمي: 212
نظام إحداثيات مرجعي
النظام المرجعي للإحداثيات الهندسية: 74، 246
نظام مرجعي للإحداثيات أرضية المركز: 73، 75،
100، 101، 102، 105، 256
نظام مرجعي للإحداثيات الجغرافية: 49، 51، 74،
87، 94، 95، 107، 110، 111، 114،
116، 118، 140، 141، 162، 188،
190، 195، 202، 209، 229، 232،
233
شركة نفط الكويت: 298

نموذج المدينة ثلاثي الأبعاد: 35
نموذج تضاريس رقمي: 123، 135
نموذج سطح رقمي: 34، 123
نخروان: 86: 1967، 163، 233، 260، 276، 291،
294

هـ

هاتف ذكي: 4، 30
هيدروغرافيا
مخطط هيدروغرافي: 122
مسح هيدروغرافي: 63
هيئة المساحة الجيوديسية الوطنية الأمريكية: 269، 299
هيئة ثنائية معروفة: 48

و

وثب: 304
وسيط: 43، 76، 102، 105، 106، 256، 257، 258،
259، 261، 264، 289، 290، 297، 312،
314، 315، 321، 334، 340
وسطاء الإسقاط: 114، 184، 185، 207،
208، 209، 225، 226، 229، 230
وسطاء الانتقال: 257، 258، 259، 261، 264
وسطاء الدوران: 259، 260، 261
وسيط تصحيح: 297
وسيط جيوديسي: 47
وصلة انزياح: 302، 306، 318، 323، 330،
332، 335، 344
وضوح أرضي: 218، 219
وكالة الاستخبارات الجيومكانية الوطنية الأمريكية: 39،
129، 133، 265، 266، 297
وكالة التصوير والخرائط الوطنية الأمريكية: 129
ويب
خدمة تحويل الإحداثيات على ويب: 52
خدمة على ويب: 47
ويب ميركاتور (انظر إسقاط): 217، 218، 219

تمكين مكاني: 3، 4

نظام تحديد المواقع

تحديد المواقع المعتمد على نقاط وصول إنترنت

لاسلكية: 32

نظام تحديد المواقع المحلي: 31، 32

نظام تحديد المواقع المعتمد على الشبكة: 32

نظام تحديد المواقع داخل المباني: 32

نظام تحديد المواقع العالمي: 6، 15، 20، 21، 29،

30، 78، 81، 85، 87، 95، 96، 102،

103، 104، 105، 106، 130، 132، 133،

134، 137، 142، 143، 148، 149، 221،

245، 246، 254، 275، 297

رصد متحرك في الوقت الحقيقي: 22، 30، 55

معالجة البيانات لاحقاً: 30

نظام تحديد المواقع العالمي التفاضلي: 30

نظام تحديد المواقع العالمي المعزز: 30

نظام دعم القرار المكاني: 4

نظام عالمي للملاحة بالأقمار الاصطناعية: XIII، 6، 7،

22، 28، 29، 30، 31، 32، 34

نظام مرجعي أرضي دولي: 78، 103، 104، 105

نظام مرجعي جغرافي عالمي: 97، 98، 99، 100

نظام مرجعي للشبكة العسكرية: 99، 208، 210،

211، 212، 213، 214، 215، 216، 217

مربعات المائة كيلومتر: 211، 212

منطقة الشبكة: 211، 212، 213

نطاق عرضي: 211

نقطة

نقطة إرساء المرجع (انظر مرجع جيوديسي): 83،

84

نقطة أساس: 333

نقطة أولية (انظر مرجع جيوديسي): 83

نقطة تحكم: XXI، 59، 64، 141، 142، 143،

144، 145، 146، 301، 302، 303،

304، 305، 306، 307، 308، 315،

318، 320، 321، 325، 326، 330،

331، 333، 335، 337، 343، 344،

345، 346، 347

نموذج ارتفاع رقمي: 122، 123، 250، 337، 347

Index**1**

100,000-meter square (See military grid reference system): 211

3

3D city model: 35

A

accuracy

distance accuracy: 145

elevation difference accuracy: 145

gridded data position accuracy: 44

positional accuracy: 22, 44

absolute positional accuracy: 44

external positional accuracy: 44

internal positional accuracy: 44

relative positional accuracy: 44

spatial accuracy: 22

Adindan: 86

aerial photo: 33

affine transformation: 312, 320

AutoCAD Map 3D

3 point affine: 238, 281

geometric affine transformation: 321

parametric affine transformation: 322

piecewise affine transformation: 331

Afgooye: 86, 163, 279, 285, 287, 288

Afgooye / UTM zone 39N: 163

Ain el Abd: 86, 94, 95, 162, 163, 246, 291, 293, 294

Ain el Abd / Aramco Lambert: 163

Ain el Abd / Bahrain Grid: 163

Ain el Abd / UTM zone 36N: 163

Ain el Abd / UTM zone 37N: 163

Ain el Abd / UTM zone 38N: 163

Ain el Abd / UTM zone 39N: 163

Ain el Abd / UTM zone 40N: 163

Ain el Abd 1970: 86, 95, 246

Airy 1830: 78

Algeria: 39, 86, 195, 266

geographic coordinate reference system

Nord Sahara 1959: 86, 195, 196, 197

projected coordinate reference system

Nord Sahara 1959 / Voirol Unifie Nord: 195, 196, 197

American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS): 59, 61, 62, 63, 64

Arabian Gulf: 86, 121

ArcGIS: XIV, XVII, XVIII, 49, 54, 100, 106, 107, 108, 110, 111, 119, 130, 132, 151, 152, 153, 168, 210, 214, 221, 222, 223, 225, 226, 232, 234, 235, 236, 242, 251, 271, 276, 277, 278, 284, 285, 287, 288, 292, 296, 302, 303, 304, 306, 314, 317, 318, 323, 330, 332, 333, 335, 342, 343, 346

3D Analyst: XVIII

ArcCatalog: XVIII, 137, 138, 152, 153

assign coordinate reference system: 153

clear coordinate reference system: 153

Z Coordinate System: 137, 138

ArcGIS Online: 221

ArcMap: XVIII, 111, 152, 226, 277, 285
ArcToolbox: XVIII, 100, 152, 210, 214, 234, 235, 251, 277, 278, 287, 314, 344
Convert Coordinate Notation: 100, 210, 214
Create Custom Geographic Transformation: 287
Export Raster World File: 314
output cell size: 234, 236, 276, 278
Project: 234, 235, 236, 277, 278, 279
Project Raster: 235, 236, 278, 279
Projections and Transformations: 100, 152, 210, 214, 234, 235, 277, 278, 287, 314, 344
Spatial Reference Properties: 152
Wrap: 344
Assign Coordinate System: 108, 223
Auto Registration: 303, 304
auxiliary file: 153
calculating distance: 168
compression: 236, 279
Data Frame Properties: 107, 223
Data Interoperability: XVII, 54
Default Output Z Value: 251
Define Projection: 152
Effects toolbar: 303
Environment: 236, 251, 279
Geographic Coordinate Systems Warning: 285, 287
Geographic Transformation: 235, 277
geoid
 EGM96: 132, 296
Georeferencing toolbar: 303, 314, 323, 342
 Adjust: 317, 318, 343
 Polynomial: 343
 Projective: 343
 Spline: 343

Go To XY: 214
Input Coordinate System: 277
Method Name: 271, 286
MGRS: 214
NADCON: 271
New Geographic Transformation: 286
output cell size: 234, 236, 276, 278
Output Coordinate System: 235, 277
Output Dataset or Feature Class: 277
Output has Z Values: 251
predefined geographic coordinate systems: 152
Raster Storage: 236, 279
Spatial Adjustment toolbar: 306, 317, 323, 332, 335
 Adjustment Methods: 317, 318, 323, 332, 335
 Choose Input For Adjustment: 317
 displacement link: 318
 New Limited Adjustment Area: 332
 Rubbersheet: 332
 Transformation - Affine: 323
 Transformation - Projective: 335
Swipe Layer: 303
View Link Table: 306, 318, 344
aspect
 equatorial aspect: 179
 normal aspect: 178
 oblique aspect: 178
 polar aspect: 179
 transverse aspect: 178
asset management: 3
attribute: 346
Australian National 1966: 78
AutoCAD map 3D
 TABLET command: 320, 323, 335
AutoCAD Map 3D: XIV, XVII, XVIII, 54, 108, 109, 111, 112, 153, 154, 169, 176, 215, 223, 224, 226, 227, 236,

237, 238, 239, 242, 251, 252, 271,
276, 279, 280, 281, 287, 288, 292,
293, 300, 306, 307, 311, 314, 318,
319, 320, 323, 331, 333, 335, 344,
345, 346
3 point affine: 238, 281
4 point rubbersheet: 238, 281
ADEDEFCRDSYS command: 112, 114
ADEDRAWINGS command: 318
ADERSHEET command: 333
ADESETCRDSYS command: 109, 154,
224
ADETRANSFORM command: 319
assign coordinate reference system:
109, 154, 224
Assign Global Coordinate System:
108, 109, 153, 154, 223, 224
calculating bearing: 169, 176, 177
calculating distance: 169, 176, 177
clear coordinate reference system:
109, 154, 224
Convert coordinates to: 237, 280
Coordinate System Type: 113
Coordinate Track: 169, 215
Correlation Source: 238, 280
Create a new datum: 112
Create Coordinate System: 226, 227,
229
Create Geodetic Transformation
Definition: 287
Create Geodetic Transformation
Path: 292
Datum Manager: 115
Define Ellipsoid: 116
Define Global Coordinate System:
111, 115, 116
Define/Modify Drawing Set: 318, 319
Drawing Settings: 319
Driver Options: 252
Ellipsoid Manager: 116
Export Raster: 239, 281

FLATTEN command: 252
Geo Distance: 169
Global Coordinate System Manager:
112, 114
IEXPORT command: 239, 281
IINSERT command: 237
image file correlation: 238, 280
Insert Raster: 237, 280
Map 3D Export: 237, 252, 279
MAPCSASSIGN command: 108, 154,
223
MAPCSCREATE command: 226, 287,
292
MAPDIST command: 169, 176, 177
MAPEXPORT command: 237, 252,
279
MAPLOGIN command: 112, 226
MGRS: 169, 215
Modify Correlation Values: 238, 280
NADCON: 271
Raster Design: 237, 238, 239, 280,
281, 306, 311, 314, 333, 344
rubbersheeting: 306, 333, 344,
346
Raster Tools: 237, 239, 280, 281, 314,
344, 346
IWORLDOUT command: 239, 281,
314
Rubber Sheet: 344
World File: 239, 281, 314
Transform to drawing's coordinate
system: 238, 280
Unity Projection: 114, 116
VERTCON: 300
world file correlation: 238, 280
auxiliary file: 153
Ayabelle Lighthouse: 86
azimuth: 142, 167
azimuth mark: 142
backward azimuth: 173
forward azimuth: 172

B

Bahrain: 86, 94, 266
 projected coordinate reference
 system
 Ain el Abd / Bahrain Grid: 163
 bathymetry: 122
 bathymetric chart: 122
 bathymetric data: 122
 bearing: 167, 175, 177, 200
 back bearing: 173
 initial bearing: 172
 loxodrome: 167, 168
 Qiblah: 25, 26, 159, 170, 171, 172,
 174, 175, 176, 177
 rhumb line: 167
 Vincenty's formulae: 172
 bench mark: 126, 141
 Bentley
 MicroStation GeoGraphics: XVII
 Bessel 1841: 78
 BSQ: 240, 283
 Bursa-Wolf method: 258
 business intelligence (BI): 4

C

CAD (computer aided design): 6, 34
 calibration: 36
 Carthage: 86
 cartography: 6
 cartographic grid: 164
 graticule: 89
 cell: 326
 grid cell: 309
 charge-coupled devices: 32
 Clarke 1866: 78
 Clarke 1880: 78, 85, 86, 140, 188, 189,
 195, 260, 274, 277

Compass: 30
 confidence level: 56
 contour: 57
 depth contour: 122
 height contour: 122
 isobaths: 122
 isohypses: 122
 control mark: 141
 control point: 141, 301
 control vector: 330
 convex hull: 345
 coordinate
 coordinate conversion: 246
 projected coordinate: 74, 160, 161,
 164
 coordinate operation
 Bursa-Wolf method: 258
 concatenated coordinate operation:
 247
 coordinate conversion: 246
 coordinate frame rotation
 transformation: 260
 coordinate transformation: 52, 246
 equation-based coordinate
 operation: 255
 geocentric translation: 256
 geographic offset: 268
 grid-based transformation: 255, 269,
 299
 Helmert method: 103, 105, 256, 258,
 259, 274, 275, 315, 341, 342
 polynomial transformation: 336
 position vector transformation: 259
 projective transformation: 335
 seven-parameter method: 258
 similarity transformation: 315
 ten-parameter method: 261
 three-parameter method: 256
 vertical offset: 297
 coordinate reference system: 43, 72, 74

compound coordinate reference
 system: 74, 139, 140
 PSHD93: 140

engineering coordinate reference
 system: 74

geocentric coordinate reference
 system: 73, 100, 102, 105
 Yemen NGN96: 102, 163

geographic coordinate reference
 system: 49, 51, 73, 87, 94, 95, 111,
 118, 140, 188, 195, 202, 209, 229,
 232
 Ain el Abd: 86, 94, 95, 162, 163,
 246, 291, 293, 294
 Ayabelle Lighthouse: 86
 Egypt Gulf of Suez S-650 TL: 19
 KOC: 298
 Nord Sahara 1959: 86, 195, 196,
 197
 PDO Survey Datum 1993: 140, 141

projected coordinate reference
 system: 74, 161, 188, 195, 202,
 209, 229, 232
 Afgooye / UTM zone 39N: 163
 Ain el Abd / Aramco Lambert: 163
 Ain el Abd / Bahrain Grid: 163
 Ain el Abd / UTM zone 36N: 163
 Ain el Abd / UTM zone 37N: 163
 Ain el Abd / UTM zone 38N: 163
 Ain el Abd / UTM zone 39N: 163
 Ain el Abd / UTM zone 40N: 163
 Deir ez Zor / Levant Stereographic:
 188, 189, 192, 274
 ED50(ED77) / UTM zone 39N: 163
 Fahud / UTM zone 39N: 163
 IGRS / UTM zone 39N: 163
 Karbala 1979 / UTM zone 39N: 163
 Nahrwan 1967 / UTM zone 39N:
 163
 NGN / UTM zone 39N: 163

Nord Sahara 1959 / Voirol Unifie
 Nord: 195, 196, 197
 PSD93 / UTM zone 39N: 163
 stereographic projection: 188,
 189, 192, 274
 TC(1948) / UTM zone 39N: 163
 WGS 72 / UTM zone 39N: 163
 WGS 72BE / UTM zone 39N: 163
 WGS 84 / UTM zone 39N: 163,
 209, 210, 233, 234, 235, 237,
 238, 239, 240, 242
 Yemen NGN96 / UTM zone 39N:
 163

temporal coordinate reference
 system: 74

vertical coordinate reference system:
 74, 120, 121, 140, 298
 Fao 1979 height: 121
 PDO Height Datum 1993: 140, 141

coordinate system: 43, 73, 227
 cartesian coordinate system: 73, 100
 Universal Polar Stereographic (UPS):
 212
 vertical coordinate system: 73, 120

correction: 297
 correction parameter: 297
 height correction: 131, 295

correlation: 151

CS-Map: 53, 54, 241, 283

cubic convolution: 309, 311

customer relationship management: 4

D

data
 aspatial data: 9
 data alignment: 23, 300
 data type: XIX
 geodatabase: 236, 279
 geographic information: 5, 9

- geospatial data: 9
- metadata: XVIII, 45, 46, 65, 142, 155, 240, 282, 307, 328, 347
 - ISO 19115: 45, 46
 - ISO 19139: 46
 - Oracle Spatial: 155, 240, 282
- non-spatial data: 9
- raster data: 11, 53, 150, 151, 323, 325
 - classified: 309
- spatial data: 9
 - quality: 8, 44, 45
- vector data: 11, 48, 150, 151, 336
- datum: 49, 51, 81, 82, 95, 102, 105, 111, 117, 118, 139, 140, 188, 195, 202, 209, 229, 231, 232, 291
 - barometric: 121
 - datum anchor point: 83
 - datum origin: 83
 - fundamental point: 83
 - geodetic datum: 73, 75
 - Adindan: 86
 - Afgooye: 86, 163, 279, 285, 287, 288
 - Ain el Abd 1970: 86, 95, 246
 - Ayabelle Lighthouse: 86
 - Carthage: 86
 - Deir Ez Zor: 86
 - Egypt 1907: 19, 86, 151, 152, 154, 155, 156, 257, 258, 267, 288, 289, 290, 291
 - Egypt 1930: 86
 - European 1950: 86
 - European Libyan Datum 1979: 86
 - Fahud: 86, 139, 163
 - IGN Astro 1960: 86
 - Karbala 1979: 86, 163
 - Kuwait Oil Company: 86
 - Libyan Geodetic Datum 2006: 86
 - Mauritania 1999: 86
 - Merchich: 85, 86
 - Nahrwan 1967: 86, 163, 233, 260, 276, 291, 294
 - Nord Sahara 1959: 86, 195, 196, 197
 - Palestine 1923: 86
 - PDO Survey Datum 1993: 140, 141
 - PSD93: 163
 - Qatar 1948: 86
 - Qatar 1974: 86
 - Qatar National Datum 1995: 86
 - Voirol 1879: 86
 - WGS 72BE: 163
 - Yemen National Geodetic Network 1996: 102
 - initial point: 83
 - local datum: 83
 - vertical datum: 73, 120, 121, 140
 - barometric vertical datum: 121
 - depth vertical datum: 121
 - Fahud Height Datum: 139
 - Fao 1979: 121
 - vertical datum separation: 121
- deflection of vertical: 97
- degree: 49, 81, 90, 91, 95, 117, 140, 188, 195, 202, 209, 230
 - decimal degree: 91
 - degree minute second: 91
- Deir Ez Zor: 86
- densification: 144
- depth: 121, 122
 - depth contour: 122
 - isobaths: 122
 - lowest astronomical tide: 121
- digital elevation model (DEM): 122, 250, 337
- digital surface model (DSM): 34
- digital terrain model (DTM): 135
- digitizing: 22, 36, 55, 67
 - digitizer: 36, 246, 301
 - digitizing tablet: 36

heads-up digitizing: 36
 puck: 36
 distance
 distance accuracy: 145
 great circle: 90, 166
 orthodrome: 166
 Vincenty's formulae: 172
 distortion: 162
 Djibouti: 86
 Doppler orbitography and
 radiopositioning integrated by
 satellite(DORIS): 104
 drawing: 108
 as-built drawing: 34
 drawing file: 108
 final design drawing: 34

E

earth-centered, earth-fixed (ECEF): 102
 easting: 188, 195, 202, 209, 212, 229
 false easting: 184
 eccentricity: 78
 ED50(ED77) / UTM zone 39N: 163
 EGM2008: 129, 130
 EGM96: 81, 129, 132, 133, 296, 297
 Egypt: 19, 37, 86, 151, 152, 154, 155,
 156, 211, 212, 213, 257, 258, 266,
 267, 288, 289, 290, 291
 Egypt 1907: 19, 86, 151, 152, 154,
 155, 156, 257, 258, 267, 288, 289,
 290, 291
 Egypt 1930: 86
 Pyramids: 19, 213
 elevation
 digital elevation model (DEM): 122,
 250, 337
 elevation difference accuracy: 145
 ellipsoid: 71, 76

Airy 1830: 78
 Australian National 1966: 78
 Bessel 1841: 78
 Clarke 1866: 78
 Clarke 1880: 78, 85, 86, 140, 188,
 189, 195, 260, 274, 277
 ellipsoid of rotation: 76
 ellipsoidal height: 95
 Everest 1830: 78
 height above ellipsoid (HAE): 95
 Helmert 1906: 78, 86, 257, 267
 International 1924: 78, 80, 86, 94, 95,
 262
 Krassowsky 1940: 78, 86, 279
 oblate ellipsoid: 76
 Plessis 1817: 78
 PZ-90: 78
 radius of curvature: 79
 tri-axial ellipsoid: 76
 enlargement: 57
 epoch: 20
 Equator: 88
 celestial equator: 87
 equatorial aspect: 179
 ERDAS: 151, 311
 error
 confidence level: 56
 root-mean-square error (RMSE): 59,
 60, 61, 62, 63, 64, 305, 306, 315,
 344
 standard deviation: 60
 uncertainty: 92
 ESA: 129
 Estonia: 148
 European 1950: 86
 European Libyan Datum 1979: 86
 European Petroleum Survey Group
 (EPSG): 41, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 77,
 78, 85, 86, 90, 91, 95, 102, 105, 118,

121, 140, 188, 195, 202, 209, 232,
247, 257, 264, 274, 291, 317, 340
EPSG Geodetic Parameter Registry:
48, 80, 81, 85, 90, 96, 97, 106, 137,
188, 190, 195, 196, 202, 203, 209,
221, 247, 250, 256, 258, 259, 260,
262, 264, 267, 268, 269, 270, 274,
277, 285, 288, 290, 295, 299, 315,
317, 321, 325, 337, 340, 341

Everest 1830: 78

extension: XVII, 312

F

Fahud: 86, 139, 163

Fahud / UTM zone 39N: 163

Fahud Height Datum: 139

Fao 1979: 121

Fao 1979 height: 121

feature: 216

Federal Geodetic Control Committee
(FGCC): 144

Federal Geographic Data Committee
(FGDC): 62, 147

file

auxiliary file: 153

binary file: 269

drawing file: 108

map file: 106, 108, 222

PRJ: 49, 111, 226

sidecar file: 312

WLD: 315

world file: 151, 238, 280, 312

fleet management: 4

FME: XIV, XVII, XIX, 49, 54, 118, 156,
157, 216, 217, 232, 241, 242, 243,
253, 254, 272, 273, 283, 284, 285,
294, 296, 300, 302, 315, 320, 329,
330, 331, 333, 334
2DForcer: 253

2DPointReplacer: 156

3DForcer: 253

Affiner: 320, 329, 330

AffineWarper: 330

assign coordinate reference system:
156, 157

clear coordinate reference system:
156

CoordinateSystemRemover: 156

CoordinateSystemSetter: 156, 157

Create custom coordinate reference
system: 118, 232, 290

CsmapReprojector: 241, 283, 296

custom transformer: 294

ESRIReprojector: 241, 242, 283, 284

FME Quick Translator: 241, 242, 284

FME Workbench: 241, 242, 243, 284,
285, 296

LatLongToMGRSConverter: 216

MGRS: 216, 217

MGRSGeometryExtractor: 216

MGRSGeometryReplacer: 217

MGRSToLatLongConverter: 217

MyCoordSysDefs.fme: 118, 232, 290

NADCON: 273

Options: 273

Reprojector: 241, 283, 284, 294

RubberSheeter: 333, 334

Show Summary Annotation: 329

VERTCON: 300

WLD file: 315

format: XIX, 46, 49

BSQ: 240, 283

ERDAS: 151, 311

GML: 47, 52

JPEG: 236, 278

KML: 156

PRJ: 49, 111, 226

SHP: 49, 252, 253, 284

SINEX: 105

text markup language: 48

well-known binary: 48
 well-known text (WKT): 48, 49, 50,
 51, 76, 77, 80, 94, 102, 105, 111,
 121, 140, 188, 202, 209, 229
 WLD: 315
 XML: 46, 52, 272

G

Gauss-Boaga: 202
 Gauss-Krüger: 201, 202
 gazetteer: 39, 43
 generalization: 55
 geocoding: 38
 geodatabase: 236, 279
 geodetic network
 control mark: 141
 control point: 141, 301
 densification: 144
 gravity station: 142
 leveling route: 145
 national geodetic network (NGN):
 141
 traverse station: 142
 triangulation station: 142
 geographic identifier: 37
 geographic identifier (See spatial
 referencing): 43
 geographic information: 5, 9
 geographic information system (GIS): 5
 GeoJSON: 12, 47
 spatial technologies: 2
 geoid: 71, 127, 130, 131
 EGM2008: 129, 130
 EGM96: 81, 129, 132, 133, 296, 297
 ArcGIS: 132, 296
 geoid height: 130
 geoid model: 131
 geoid separation: 130
 geoid undulation: 130
 GPS/levelling geoid undulation: 134
 local geoid: 133
 quasi-geoid: 137
 Geoinformatics: 7
 GeoJSON: 12, 47
 GeoKettle: XVII
 geomarketing: 4
 Geomatics: 7
 GeoMedia
 GeoMedia SDI Portal: 52
 geoprocessing: XVIII, 214
 georeferencing: 15
 geospatial technology: 2
 global navigation satellite system
 (GNSS): 6, 29
 GLONASS: 6, 30, 78
 Global Positioning System (GPS): 6, 15,
 21, 29, 30, 78, 81, 87, 95, 96, 102,
 103, 105, 130, 132, 133, 134, 143,
 246
 aGPS: 30
 A-GPS: 30
 Assisted GPS: 30
 Differential Global Positioning System
 (DGPS): 30
 GPS/levelling geoid undulation: 134
 post processing: 30
 Real Time Kinematic (RTK): 22, 30, 56
 GLONASS: 6, 30, 78
 GML: 47, 52
 GMTED2010: 123
 GOCE: 129
 Google Earth: 132, 156, 217
 orthometric height: 132
 Google Maps: 217
 grad: 90
 gon: 90, 92
 GRASS GIS: 53

graticule: 89
 gravimeter: 135
 gravity: 73, 96, 135, 142
 EGM2008: 129, 130
 EGM96: 81, 129, 132, 133, 296, 297
 gravimeter: 135
 gravity anomaly: 135
 gravity station: 142
 gravity-related height: 96
 great circle: 90, 166
 Greenwich: 48, 89, 207, 257
 grid
 cartographic: 164
 graticule: 89
 grid cell: 309
 grid north: 165
 grid zone (See military grid reference system): 211
 grid-based transformation: 255, 269, 299
 gridded data position accuracy: 44
 map projection grid: 184
 military grid reference system (MGRS): 99, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 217
 GRS 1967: 78
 GRS 1980: 78, 86, 104, 105

H

height: 95, 122, 131, 140, 295
 digital elevation model (DEM): 122, 250, 337
 digital surface model: 34
 digital terrain model: 135
 ellipsoidal height: 95
 geodetic height: 95
 geoid height: 130
 gravity-related height: 96
 height above ellipsoid (HAE): 95

height contour: 122
 height correction: 131, 295
 isohypses: 122
 orthometric height: 96
 sea surface height (SSH): 124
 spot height: 62
 Helmert 1906: 78, 86, 257, 267
 Helmert method: 103, 105, 256, 258, 259, 274, 275, 315, 341, 342
 hemisphere: 91
 hydrography: 122
 hydrographic chart: 122
 hydrographic surveying: 28
 hyperbolic positioning: 31

I

IGN Astro 1960: 86
 IGRS / UTM zone 39N: 163
 indoor positioning system (IPS): 32
 Intergovernmental Committee on Surveying and Mapping (ICSM): 66
 International 1924: 78, 80, 86, 94, 95, 262
 International Association of Oil & Gas Producers (OGP): 46
 International Earth Rotation and Reference Systems Service (IERS): 105, 106
 International Reference Meridian (IRM): 105
 International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG): 105
 interpolation: 134, 309, 310
 bi-linear interpolation: 256, 269, 299
 interval: 57
 Iraq: 86, 121, 224, 266
 ISO (See standards): 7, 8, 13, 22, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 48, 56, 83, 120, 260

isobaths: 122

ITRF

International Reference Meridian
(IRM): 105

International Reference Pole: 105

ITRF2000: 82, 104

ITRF2005: 104, 105

ITRF91: 82

ITRF94: 82

realization: 103, 141

velocity: 103

ITRF96: 149

ITRS (International Terrestrial Reference
System): 103

J

Jordan: 86, 266

JPEG: 236, 278

K

Kaaba: 229, 230, 231, 232

Karbala 1979: 86, 163

Karbala 1979 / UTM zone 39N: 163

KML: 156

KOC: 298

KOC CD Height: 298

KOC WD Depth: 298

Krassowsky 1940: 78, 86, 279

Kuwait: 18, 19, 86, 266, 298

Kuwait Oil Company: 86, 298

L

Lambert conic conformal projection (See
projection): 162, 195

Lambert Equal Area Conic projection
(See projection): 194

land cover: 22

Laplace equation: 84

laser detection and ranging (LADAR): 33

latitude: 88, 140, 185, 211, 229

astronomical latitude: 87

latitude band (See military grid
reference system): 211

latitude of natural origin: 185

Lebanon: 266

leveling

GPS/levelling geoid undulation: 134

leveling route: 145

Libya: 39, 86

Libyan Geodetic Datum 2006: 86

light detection and ranging (LIDAR): 33

point cloud: 34

surface reconstruction: 34

line

standard line: 180

linear referencing system (LRS): 39

local positioning system (LPS): 31

location-based service (LBS): 4

longitude: 89, 140, 185

astronomical longitude: 87

longitude of natural origin: 185

lowest astronomical tide (LAT): 121

loxodrome (See bearing): 167, 168

lunar laser ranging (LLR): 104

M

magnetic declination: 165

magnetic variation: 165

Makka: 25, 26, 159, 170, 171, 172, 174,
175, 176, 177

map

map file: 106, 108, 222

map projection: 161, 184

map projection grid: 184

map scale: 54, 180

map tiling: 217
 thematic map: 164
 MapInfo Professional: XVII
 MapServer: 53
 marigraph: 125
 marine chronometer: 200
 Masira Island: 276
 Mauritania: 86
 Mauritania 1999: 86
 mean sea level (MSL): 71, 124
 lowest astronomical tide: 121
 metonic cycle: 21, 125
 stilling well: 125
 tidal gauge: 125
 Mercator (See projection): 199, 200, 229
 Merchich: 85, 86
 meridian: 229
 central meridian: 185, 194
 International Reference Meridian
 (IRM): 105
 Prime Meridian: 89
 MetaCRS: 53
 metadata (See data): XVIII, 45, 65, 142,
 155, 240, 282, 307, 328, 347
 metonic cycle: 21, 125
 Microsoft
 Bing: 217, 220, 221
 SQL Server Spatial: XVII
 MicroStation (See Bentley): XVII
 MicroStation GeoGraphics (See Bentley):
 XVII
 military grid reference system (MGRS):
 99, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216,
 217
 100,000-meter square: 211
 grid zone: 211
 in ArcGIS: 214
 in AutoCAD Map 3D: 169, 215
 in FME: 216, 217

 in Oracle Spatial: 215
 latitude band: 211
 numerical location: 212
 minute: 90, 91
 degree minute second: 91
 mobile workforce management: 4
 Molodensky
 Inverse Molodensky: 275
 Molodensky method: 256, 257, 261,
 262, 263, 264, 265, 268, 275, 285,
 287, 288, 289
 Morocco: 86, 266
 geodetic datum
 Merchich: 85, 86
 multilateration: 31

N

NADCON: 269, 270, 271, 272, 273
 ArcGIS: 271
 AutoCAD Map 3D: 271
 FME: 273
 NADGRD: 270, 272
 Oracle Spatial
 CONVERT_NADCON_TO_XML: 272
 CONVERT_XML_TO_NADCON: 272
 Nahrwan 1967: 86, 163, 233, 260, 276,
 291, 294
 Nahrwan 1967 / UTM zone 39N: 163
 National Geospatial-Intelligence Agency
 (NGA): 39, 129, 133, 265, 266, 297
 National Imagery and Mapping Agency
 (NIMA): 129
 National Oceanic and Atmospheric
 Administration (NOAA): 270
 National Standard for Spatial Data
 Accuracy (NSSDA): 62, 63, 67
 natural origin: 184, 188, 195, 202, 209
 latitude of natural origin: 185
 longitude of natural origin: 185

navigation

- turn-by-turn navigation: 4

- nearest neighbor: 309, 310

- network based positioning: 32

- NGN / UTM zone 39N: 163

- no objection certificate (NOC): 16

- Nord Sahara 1959: 86, 195, 196, 197

- Nord Sahara 1959 / Voirol Unifie Nord: 195, 196, 197

north

- geodetic north: 164

- grid north: 165

- magnetic north: 165

- true north: 164, 175

- northing: 188, 195, 202, 209, 212, 229

- false northing: 184

- NTv2: 270, 272

- Oracle Spatial

- CONVERT_NTV2_TO_XML: 272

- CONVERT_XML_TO_NTV2: 272

- numerical location (See military grid reference system): 212

O

- object: 328

offset

- geographic offset: 268

- Oman: 86, 139, 140, 266, 276

- geodetic datum

- Fahud: 86, 139, 163

- Masira Island: 276

- vertical datum

- Fahud Height Datum: 139

- on the fly: 107, 119, 150, 222, 233

- Open Geospatial Consortium (OGC): 8, 41, 48, 50

- Open Source Geospatial Foundation (OSGeo): 41, 52, 53

- OpenStreetMap: 220, 221

- Oracle Spatial: XIV, XVII, XIX, 7, 50, 51, 77, 82, 138, 156, 170, 177, 215, 239, 240, 253, 272, 282, 290, 293, 300, 307, 308, 311, 314, 320, 324, 325, 326, 327, 336, 346, 347

- ADD_PREFERENCE_FOR_OP: 290

- AFFINETRANSFORMS: 320, 324

- assign coordinate reference system: 155, 240, 282

- BEARING_TILT_FOR_POINTS: 177

- calculating bearing: 177

- calculating distance: 170

- clear coordinate reference system: 155, 240, 282

- CONVERT_NADCON_TO_XML: 272

- CONVERT_NTV2_TO_XML: 272

- CONVERT_XML_TO_NADCON: 272

- CONVERT_XML_TO_NTV2: 272

- Create custom coordinate reference system: 117, 139

- CREATE_PREF_CONCATENATED_OP: 293

- CS_SRS: 118, 232, 326

- from_USNG: 215

- GEORASTER: 240, 282, 283, 308, 326, 327, 328, 347

- GEOREFERENCE: 314, 320, 325, 326, 336, 346, 347

- ImportFrom: 314

- INSERT: 155, 230, 231, 289, 290

- MAKE_2D: 253

- MAKE_3D: 253

- MAP_EPSG_SRID_TO_ORACLE: 50, 51

- MGRS: 215

- Oracle Spatial and Graph: XVII, XIX

- PARAM_VALUE_FILE: 230, 231, 272, 289, 290, 300

- PARAM_VALUE_FILE_REF: 230, 231, 272, 289, 290, 300

- REPROJECT: 240, 282, 283

SDD_COORD_PARAM_VALS: 272, 300
 SDO_DISTANCE: 170
 SDO_COORD_OP_METHODS: 230, 289
 SDO_COORD_OP_PARAM_USE: 230, 289
 SDO_COORD_OP_PARAM_VALS: 230, 231, 289, 290
 SDO_COORD_OPS: 230, 272, 289, 300
 SDO_COORD_REF_SYS: 155, 231, 240, 282
 SDO_COORD_REF_SYSTEM: 231
 SDO_CS: 50, 51, 215, 239, 240, 253, 272, 282, 290, 293
 SDO_CS_SRS: 51
 SDO_DATUMS: 82, 117, 139
 SDO_ELLIPSOIDS: 77, 117
 SDO_GEOM: 155, 170, 177, 215, 253, 324
 SDO_GEOR_GCP: 307, 308, 327, 346, 347
 SDO_GEOR_GCP_COLLECTION: 307, 327, 347
 SDO_GEOR_GCPGEOREFTYPE: 307, 327, 346, 347
 SDO_GEOR_SRS: 328
 SDO_GEORASTER: 240, 283, 326, 327, 347
 SDO_GROR: 240, 282
 SDO_PREFERRED_OPS_SYSTEM: 290
 SDO_PREFERRED_OPS_USER: 290
 SDO_PRIME_MERIDIANS: 117
 SDO_UNITS_OF_MEASURE: 117, 230, 289
 SDO_UTIL: 177, 320, 324
 setSRS: 156, 327, 328
 Spatial Data Option (SDO): XIX
 to_USNG: 215
 tolerance: 170, 177
 TRANSFORM_LAYER: 239, 240, 282
 USE_CASE: 290

user_sdo_geom_metadata: 155, 240, 282
 VERTCON: 230, 231, 272, 289, 290, 300
 orthodrome: 166
 orthophoto: 34
 orthorectification: 123
 OSTN: 270
 overlay: 52

P

Palestine: 86, 266
 Palestine 1923: 86
 pan: 13, 39, 217
 parallel: 88
 central parallel: 185
 standard parallel: 185, 194
 parameter: 43
 translation parameters: 257, 259, 261, 264
 PDO Height Datum 1993: 140, 141
 PDO Survey Datum 1993: 140, 141
 photogrammetry: 28, 33
 Plessis 1817: 78
 plumb line: 127
 point
 base point: 252, 333
 control point: 141, 301
 datum anchor point: 83
 fundamental point: 83
 initial point: 83
 point scale: 181
 reference point: 333
 point cloud: 34
 Polaris: 103
 pole
 International Reference Pole: 105
 polar aspect: 179

Polaris: 103

positioning

- Doppler orbitography and radiopositioning integrated by satellite(DORIS): 104
- Global Positioning System (GPS): 6, 15, 21, 29, 30, 78, 81, 87, 95, 96, 102, 103, 105, 130, 132, 133, 134, 143, 246
- hyperbolic positioning: 31
- indoor positioning system (IPS): 32
- local positioning system: 31
- network based positioning: 32

post processing: 30

precision: 92

PRJ file: 49, 111, 226

PROJ.4: 53

projection: 72, 163, 200

- analytical projection: 163
- authalic projection: 180
- azimuthal orthographic projection: 187
- azimuthal projection: 26
- central projection: 193
- centrographic projection: 193
- conformal projection: 180
- conical projection: 162, 194, 195, 196, 197
- cylindrical projection: 25, 198
- equal-area projection: 180
- equiareal projection: 180
- equidistant projection: 180
- equivalent projection: 180
- Gauss-Boaga: 202
- Gauss-Krüger: 201, 202
- gnomonic projection: 193
- Lambert Conic Conformal: 195, 196
- Lambert Equal Area Conic projection: 194
- map projection: 161, 184

- map projection grid: 184
- Mercator projection: 200
- non-perspective: 163
- non-perspective projection: 163
- orthomorphic projection: 180
- planar projection: 186
- projected coordinates: 160, 164
- stereographic projection
 - azimuthal: 187
- Transverse Mercator (TM): 200, 202, 209, 232
 - WGS 84 / Dubai Local TM: 202, 203, 205, 313, 325
- Universal Polar Stereographic (UPS): 212
- Universal Transverse Mercator(UTM): 99, 162, 163, 184, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 233, 235, 240, 317
 - UTM zone 39N: 163, 233
 - UTM zone 39S: 209
- Web Mercator: 218, 219

property: 164, 251

PSD93: 163

PSD93 / UTM zone 39N: 163

PSHD93: 140

PZ-90: 78

Q

Qatar: XXI, XXII, 70, 79, 80, 86, 109, 110, 167, 190, 218, 248, 265, 266

Qatar 1948: 86

Qatar 1974: 86

Qatar National Datum 1995: 86

Qiblah (See bearing): 25, 26, 159, 170, 171, 172, 174, 175, 176, 177

quality (See standards): 8, 44, 45

quasi-geoid: 137

R

radian: 90
 radio detection and ranging (RADAR): 33
 radius of curvature: 79
 Real Time Kinematic (RTK): 22, 30, 56
 realization: 103, 141
 referencing
 linear referencing system: 39
 spatial reference system identifier (SRID): 49
 spatial referencing: 37, 42, 43
 reflection: 324
 remote sensing (RS): 5
 active: 33
 orthophoto: 34
 passive remote sensing: 32
 spectral signature: 303
 unmanned aerial vehicle: 33
 resampling: 234, 240, 241, 276, 283, 309
 classified raster data: 309
 cubic convolution: 309, 311
 nearest neighbor: 309, 310
 simple average: 311
 weighted average: 310
 resolution
 ground resolution: 218
 return on investment (ROI): 3
 rhumb line (See bearing): 167
 RMSE (See error): 59, 60, 61, 62, 63, 64, 305, 306, 315, 344
 root-mean-square error (RMSE): 59, 305
 rubbersheeting: 331
 4 point rubbersheet: 238, 281

S

satellite: 104
 satellite laser ranging (SLR): 104

satellite laser ranging (SLR): 104
 Saudi Arabia: 25, 26, 86, 95, 159, 162, 163, 170, 171, 172, 174, 175, 176, 177, 246, 291, 294
 Ain el Abd: 86, 94, 95, 162, 163, 246, 291, 293, 294
 Ain el Abd 1970 (See datum): 86, 95, 246
 Qiblah (See bearing): 86, 94, 266, 291
 scale
 actual scale: 181
 large scale: 55
 map scale: 54, 180
 particular scale: 181
 point scale: 181
 principal scale: 181
 scale factor: XXII, 181, 185, 259, 261
 small scale: 55
 true scale: 181
 scanning: 15
 scanned: 11, 55, 151, 246, 300
 second: 90, 91, 177, 252
 degree minute second: 91
 seven-parameter method: 258
 shearing: 324
 SHP: 49, 252, 253, 284
 Shuttle Radar Topography Mission (SRTM): 124
 SINEX: 105
 smart phone: 4
 snap: 304
 Somalia: 86, 209, 266, 279
 Afgooye: 86, 163, 279, 285, 287, 288
 Spain
 Andalusia: 37, 135
 spatial decision support systems (SDSS): 4
 spatial enablement: 3

spatial reference system identifier
 (SRID): 49, 50, 51, 117, 118, 139, 155,
 163, 230, 231, 232, 289
 Oracle Spatial: 50, 51
 spatial technologies: 2
 sphere: 71, 76
 authalic: 80
 conformal: 80, 190
 spheroid (See ellipsoid): 49, 51, 76, 77,
 80, 81, 95, 102, 105, 111, 118, 140,
 188, 195, 202, 209, 229, 232
 SRTM: 124
 standard deviation: 60
 standards
 American Society for
 Photogrammetry and Remote
 Sensing (ASPRS): 59, 61, 62, 63, 64
 CS-Map: 53, 54, 241, 283
 European Petroleum Survey Group
 (EPSG): 41, 46, 47, 48, 49, 50, 51,
 77, 78, 85, 86, 90, 91, 95, 102, 105,
 118, 121, 140, 188, 195, 202, 209,
 232, 247, 257, 264, 274, 291, 317,
 340
 Federal Geodetic Control Committee
 (FGCC): 144
 Federal Geographic Data Committee
 (FGDC): 62, 147
 Intergovernmental Committee on
 Surveying and Mapping (ICSM): 66
 International Association of Oil & Gas
 Producers (OGP): 46
 ISO: 7, 8, 13, 22, 41, 42, 43, 44, 45,
 46, 48, 56, 83, 120, 260
 ISO 19111: 8, 42, 43, 46, 83, 120,
 260
 ISO 19112: 43
 ISO 19113: 8, 44, 45, 56
 ISO 19114: 45
 ISO 19115: 45, 46

 ISO 19139: 46
 ISO 6709: 44
 MetaCRS: 53
 National Standard for Spatial Data
 Accuracy (NSSDA): 62, 63, 67
 Open Geospatial Consortium (OGC):
 8, 41, 48, 50
 PROJ.4: 53
 United States National Map Accuracy
 Standards (NMAAS): 56, 58, 59, 65
 station
 traverse station: 142
 triangulation station: 142
 stilling well: 125
 Sudan: 12, 86, 266
 surface
 digital surface model (DSM): 34
 equi-potential surface: 127
 sea surface height (SSH): 124
 sea surface topography (SST): 124
 surface reconstruction: 34
 topographic surface: 71
 survey: 27, 147
 cadastral surveying: 27
 engineering surveying: 28
 geodetic surveying: 27
 hydrographic surveying: 28
 plane surveying: 27
 topographic surveying: 27
 Syria: 86, 91, 188, 266, 274, 275
 Deir Ez Zor (See datum): 85, 188, 189,
 192, 274
 projected coordinate reference
 system
 Deir ez Zor / Levant Stereographic:
 188, 189, 192, 274

T

Talend: XVII

target: 257
 TC(1948) / UTM zone 39N: 163
 tectonic plate: 20
 ten-parameter method: 261
 terrain
 digital terrain model (DTM): 135
 terrestrial reference frame (TRF): 141
 theodolite: 142
 three-parameter method: 256
 tide
 lowest astronomical tide: 121
 tidal gauge: 125
 tile: 221
 map tiling: 217
 topography
 sea surface topography (SST): 124
 topographic surface: 71
 topographic surveying: 27
 transformer: 49
 custom transformer: 294
 translation: 257, 259, 261, 264, 315, 321, 324
 geocentric translation: 256
 translation parameter: 257, 259, 261, 264
 Transverse Mercator (See projection): 200, 202, 209, 232
 traverse station: 142
 triangulation
 triangulation station: 142
 Tunisia: 86, 100, 250, 266
 Carthage (See datum): 86

U

U.A.E: 87, 133, 163, 202, 209, 210, 233, 234, 235, 237, 238, 239, 240, 242, 266, 297, 313, 325
 Hatta: 313

Liwa: 133, 297
 Nahrwan 1967 (See datum): 86, 163, 233, 260, 276, 291, 294
 WGS 84 / Dubai Local TM: 202, 203, 205, 313, 325
 UK: 78, 270
 uncertainty (See error): 92
 United States National Map Accuracy Standards (NMAS): 56, 58, 59, 65
 USA: 25, 26, 172, 174, 177
 UTM (See projection)
 UTM zone 39S: 209

V

velocity: 103
 VERTCON: 299, 300
 AutoCAD Map 3D: 300
 FME: 300
 Oracle Spatial: 230, 231, 272, 289, 290, 300
 vertical
 prime vertical: 79, 190
 very long base-line interferometry (VLBI): 104
 viewshed analysis: 123
 Vincenty's formulae: 172
 Voirol 1879: 86

W

web
 Web Mercator (See projection): 218, 219
 web service: 47
 well-known text (WKT): 48
 well-known binary: 48
 WGS 1972: 78
 WGS 72

WGS 72 / UTM zone 39N: 163
WGS 72BE: 163
WGS 72BE / UTM zone 39N: 163
WGS 84: 19, 21, 47, 48, 49, 50, 51, 77,
78, 81, 82, 83, 87, 92, 95, 96, 102,
105, 129, 130, 133, 162, 163, 169,
170, 174, 177, 202, 203, 205, 209,
210, 212, 215, 225, 226, 229, 230,
231, 232, 233, 234, 235, 237, 238,
239, 240, 242, 245, 246, 249, 250,
254, 258, 260, 261, 262, 265, 266,
267, 274, 277, 279, 280, 281, 282,
284, 285, 287, 288, 289, 290, 291,
293, 294, 297, 313, 325
WGS 84 / Dubai Local TM: 202, 203,
205, 313, 325
WGS 84 / UTM zone 39N: 163, 209,
210, 233, 234, 235, 237, 238, 239,
240, 242
Wi-Fi-based positioning: 32
WLD: 315

World Geodetic System (See WGS 84):
51, 81, 82, 202, 209, 232
world geographic reference system
(GEOREF): 97, 98, 99, 100

X

XML: 46, 52, 272

Y

Yemen: 102, 163
Yemen National Geodetic Network
1996: 102
Yemen NGN96 / UTM zone 39N: 163

Z

zone: 163, 206, 207, 317
grid zone: 211
zoom: 36, 55, 217

عن المؤلف

- درس العمارة وتخطيط المدن في كلية الهندسة المعمارية بجامعة حلب، وتخرج منها في العام 1994.
- بدأ العمل في الشركات المتخصصة بتقديم خدمات نظام المعلومات الجغرافية (GIS) والمساحة والتصميم بالحاسوب (CAD) منذ العام 1995.
- عمل أخصائياً لنظام المعلومات الجغرافية مع وكالة التعاون التقني الألمانية (GTZ) في العام 1998، ونقذ مشروع خريطة الأساس الرقمية الشاملة لمدينة حلب القديمة.
- نشر منذ العام 1999 أكثر من 50 مقالاً عن التقنيات المكانية في المجلات والدوريات المختلفة، منها مجلة PC Magazine – الطبعة العربية.
- طور مجموعة من التطبيقات الموجهة لأتمتة التصميم وزيادة الإنتاجية، وأشرف على وضع المواصفات والإجراءات القياسية ذات الصلة بالتصميم بالحاسوب (CAD) في مجموعة شركات تعمل في قطاع الإنشاءات في الشرق الأوسط.
- أسس في العام 2000 موقع CAD, GIS, & GPS Magazine، وهو أول موقع عربي على ويب يُعنى بالتقنيات المكانية، وفاز بجوائز محلية وإقليمية ودولية، منها جائزة WSA لأفضل محتوى إلكتروني في دولة الإمارات العربية المتحدة في فئة eScience للعام 2005، وجائزة PAWA الذهبية لأفضل موقع إلكتروني في العالم العربي في فئة المواقع التعليمية للعام 2007. رابط الموقع:

<http://www.geospatialtechnology.net>

- عمل في بلدية دبي وهيئة الطرق والمواصلات بدبي محلاً رئيسياً لنظام المعلومات الجغرافية بين الأعوام 2000 و2010 وأشرف على إنشاء وصيانة قواعد البيانات الجغرافية المؤسسية وتطوير التطبيقات والحلول المكانية بالإضافة إلى دعم عمليات الأعمال والتحليل واتخاذ القرار باستخدام نظام المعلومات الجغرافية، وأسهم في إدارة وتنفيذ المشروعات وفرق العمل التقنية في الإدارات المختلفة.
- يعمل منذ العام 2010 استشارياً لنظام المعلومات الجغرافية (GIS) والبنية التحتية للبيانات المكانية (SDI) في شركة متخصصة في استشارات وخدمات التقنيات المكانية في منطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا، وهو يعمل ضمن فريق عمل برنامج البنية التحتية للبيانات المكانية لإمارة أبوظبي (AD-SDI).

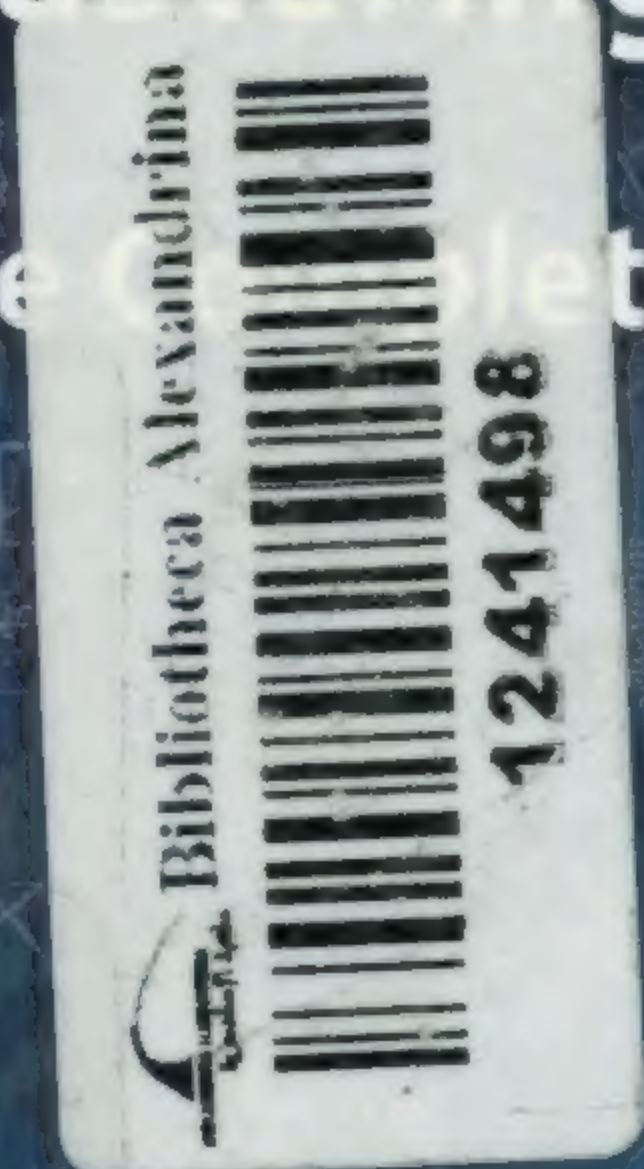
هذا الكتاب

الإحداثيات هي حجر الأساس في جميع العلوم والتقنيات المكانية، إذ تعتمد نتيجة التخطيط والتحليل المكاني بصورة رئيسية على دقة الموقع وصحة الإحداثيات، كما تؤدي الأخطاء والفروق في النظام المرجعي للإحداثيات إلى تضارب البيانات المكانية وصعوبات في محاذاتها.

هذا الكتاب موجّه إلى مستخدم التقنيات المكانية لمساعدته على فهم الأساس النظري والتطبيقات العملية للإحداثيات ويمثل مرجعاً عملياً له للتغلب على مشاكل الإحداثيات ومواءمة البيانات المكانية بحيث يتمكن من إنجاز مهامه اليومية والعمل في المشروعات في مؤسسته بنجاح.

يغطي الكتاب مقدمة عن التقنيات المكانية وأهمية الإحداثيات فيها، ويتناول المواصفات القياسية ذات الصلة بالإحداثيات، والأنظمة المرجعية، بالإضافة إلى الإسقاطات والعمليات على الإحداثيات، مثل التحويل بين المراجع الجيوديسية أو بين المراجع الرأسية، ويشرح التطبيقات العملية من خلال مشروعات من الدول العربية باستخدام مجموعة من البرامج والأنظمة الأكثر شيوعاً وانتشاراً وهي ArcGIS و AutoCAD Map و FME Desktop و Oracle Spatial و

Mastering Coordinates: The Complete Guide for GIS Professionals



ISBN 978-9933-13-239-2

30060 448



9 789933 132392



<http://www.raypub.com>